



Naturalis

Repositorio Institucional

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar>

Universidad Nacional de La Plata

Facultad de Ciencias Naturales y Museo



Génesis del yacimiento de metales preciosos Mina Martha, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz

Páez, Gerardo Néstor

Doctor en Ciencias Naturales

Dirección: Schalamuk, Isidoro B.

Co-dirección: Guido, Diego M.

Facultad de Ciencias Naturales y Museo
2012

Acceso en:

<http://naturalis.fcnym.unlp.edu.ar/id/20120426001234>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional



Naturalis

Repositorio Institucional
FCNyM - UNLP

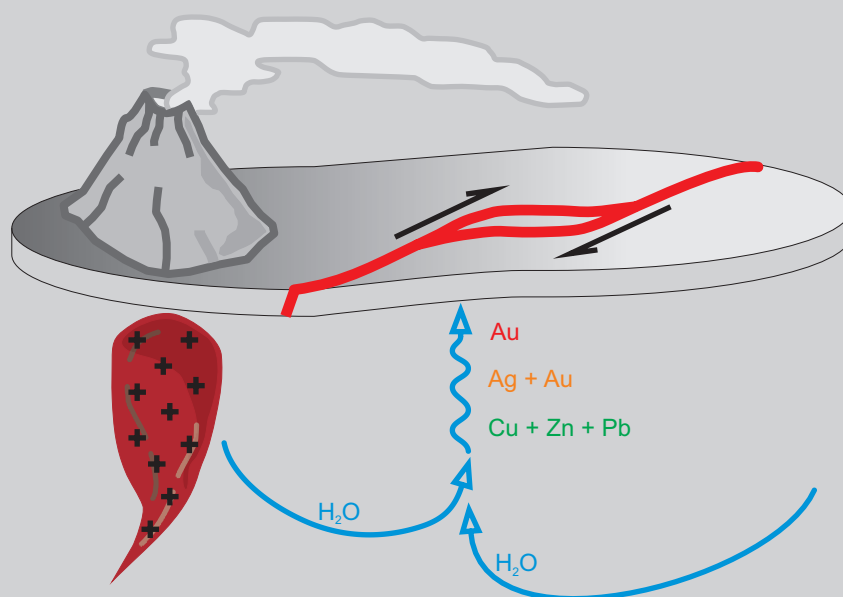
TESIS DOCTORAL

Génesis del yacimiento de metales preciosos Mina Martha, sector sudoccidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz

Lic. Gerardo Nestor Páez

Directores:

Dr. Isidoro B. Schalamuk y Dr. Diego M. Guido



Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Instituto de Recursos Minerales

La Plata - 2012



Universidad Nacional de La Plata
Facultad de Ciencias Naturales y Museo
Instituto de Recursos Minerales

La Plata - 2012

“Siquidem metallicus sit oportet suæ artis peritissimus, ut primo sciat, qui mons, qui collis, quæue uallestris aut campestris positio utiliter fodi possit, aut recuset fossionem. Deinde uenæ, fibræ, commissuræque saxorum ipsi pateant. Mox pernoscat multiplices uariasque species terrarum, succorum, gemmarum, lapidum, marmorum, saxorum, metallorum, mistorum: tum habeat cognitam omnem omnis operis sub terra faciendi rationem.” — Georgius Agricola, De Re Metallica (1556), Lib. I, p. 1.

“Un minero debe ser un gran conocedor de su arte, solo entonces sabrá que montaña o colina, valle o planicie pueden ser prospectadas en forma mas rentable, y cuales deben ser dejadas de lado. Es por esto que tiene que entender profundamente las venas, nervaduras y grietas que se encuentran en las rocas; debe también estar familiarizado con las muchas variedades de tierras, jugos, gemas, piedras preciosas, mármoles, rocas, metales y compuestos que en esta se esconden. Finalmente debe poseer un conocimiento completo de los métodos y obras necesarias para realizar su extracción en forma subterránea.”



ÍNDICE

| | |
|---|---------------|
| Índice | <i>i</i> |
| Agradecimientos | <i>v</i> |
| Resumen | <i>vii</i> |
| Abstract | <i>xi</i> |
| 1. Introducción al área de estudio | <i>01</i> |
| 1.1. Introducción y ubicación del área de estudio | <i>01</i> |
| 1.2. Trabajos previos en la zona | <i>02</i> |
| 1.3. Objetivos, plan de trabajo y estructura de la presente Tesis Doctoral | <i>05</i> |
| 1.3.1. Objetivos | <i>05</i> |
| 1.3.2. Plan de trabajo | <i>06</i> |
| 1.3.2. Estructura del presente trabajo de Tesis | <i>06</i> |
| 1.4. Referencias | <i>07</i> |
| 2. Marco geológico del yacimiento Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina | <i>09</i> |
| 2.1. Introducción | <i>09</i> |
| 2.2. Metodología | <i>10</i> |
| 2.2.1. Trabajos de gabinete | <i>10</i> |
| 2.2.2. Trabajos de campo | <i>11</i> |
| 2.3. Marco geológico regional: el Macizo del Deseado | <i>11</i> |
| 2.4. Geología distrital: el Distrito Minero Cerro 1ro de Abril | <i>13</i> |
| 2.5. Geología local: Mina Martha | <i>15</i> |
| 2.5.1. Ignimbrita Dacítica Fina | <i>18</i> |
| 2.5.2. Tobas y Tufitas Inferiores | <i>19</i> |
| 2.5.3. Ignimbrita de Cristales | <i>21</i> |
| 2.5.4. Tobas y Tufitas Superiores | <i>23</i> |
| 2.5.5. Ignimbrita Lítica | <i>23</i> |
| 2.5.6. Ignimbrita "Dacítica" | <i>27</i> |
| 2.5.7. Ignimbrita Morada | <i>29</i> |
| 2.5.8. Diques (DqM y DqP) | <i>30</i> |
| 2.5.9. Megabrecha (MB) | <i>31</i> |
| 2.5.10. Areniscas Coquinoides de la Fm. Monte León | <i>33</i> |
| 2.6. Geoquímica de roca | <i>34</i> |
| 2.7. Edad del vulcanismo | <i>37</i> |
| 2.8. Consideraciones finales | <i>37</i> |

| | |
|--|------------|
| 2.9. Referencias | 40 |
| 3. Caracterización de la mineralización argentífera del depósito Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina | 45 |
| 3.1. Introducción | 45 |
| 3.2. La Provincia Auroargentífera del Deseado | 45 |
| 3.3. Metodología | 47 |
| 3.3.1. Trabajos de campo y gabinete | 47 |
| 3.3.2. Análisis de Laboratorio | 47 |
| 3.4. El sistema de vetas de Mina Martha | 48 |
| 3.4.1. Distribución y caracterización de los cuerpos mineralizados | 48 |
| 3.4.2. Geoquímica de las vetas | 52 |
| 3.5. Esquema de pulsos mineralizantes | 53 |
| 3.5.1. Mineralogía primaria | 53 |
| 3.5.2. Química mineral | 70 |
| 3.5.3. Mineralogía secundaria | 74 |
| 3.6. Caracterización de las alteraciones | 74 |
| 3.7. Estudios inclusiones fluidas e isótopos | 79 |
| 3.7.1. Inclusiones fluidas | 79 |
| 3.7.2. Isótopos estables de oxígeno | 82 |
| 3.7.3. Isótopos estables de azufre | 83 |
| 3.7.4. Edad de la mineralización | 84 |
| 3.8. Consideraciones finales | 84 |
| 3.8.1. Clasificación del depósito argentífero Mina Martha | 84 |
| 3.8.2. Evolución paragenética del yacimiento | 87 |
| 3.8.3. Distribución y naturaleza de las alteraciones | 91 |
| 3.8.4. Naturaleza y composición de los fluidos mineralizantes | 92 |
| 3.8.4. Controles físico-químicos sobre la deposición de la mineralización | 93 |
| 3.9. Referencias | 98 |
| 4. Controles estructurales en la mineralización del yacimiento Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina | 103 |
| 4.1. Introducción | 103 |
| 4.2. Marco estructural del Macizo del Deseado | 103 |
| 4.2.1. Marco estructural regional | 103 |
| 4.2.2. Marco estructural de las mineralizaciones jurásicas | 105 |
| 4.3. Metodología | 105 |
| 4.4. Controles estructurales en los cuerpos mineralizados | 106 |
| 4.4.1. Distribución, orientación y continuidad de las estructuras mineralizadas | 106 |
| 4.4.2. Geometría del relleno en las estructuras mineralizadas | 111 |
| 4.4.3. Cinemática de las estructuras mineralizadas | 116 |
| 4.4.4. Controles sobre las leyes de la mineralización | 123 |

| | |
|---|------------|
| 4.5. Controles estructurales post-mineralización | 129 |
| 4.5.1. Fallamiento post-mineralización | 129 |
| 4.5.2. Controles sobre las leyes de la mineralización | 131 |
| 4.6. Consideraciones finales | 132 |
| 4.7. Referencias | 134 |
| | |
| 5. Conclusiones sobre el origen de la mineralización argentífera de Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina | 139 |
| 5.1. Introducción | 139 |
| 5.2. Características generales del yacimiento | 140 |
| 5.3. Conclusiones sobre la evolución del magmatismo | 140 |
| 5.4. Conclusiones sobre la evolución del sistema y los fluidos hidrotermales | 142 |
| 5.5. Conclusiones sobre los controles estructurales en la mineralización | 144 |
| 5.6. Consideraciones finales | 146 |
| 5.7. Referencias | 146 |
| | |
| 6. Anexo 1 - Mapa Geológico (1:7.500) | |
| | |
| 7. Anexo 2 - Mapas de Interior Mina (1:1.500) | |
| | |
| 8. Anexo 3 - Análisis Geoquímicos de Roca | |
| | |
| 9. Anexo 4 - Análisis de Microsonda Electrónica | |
| | |
| 10. Anexo 5 - Dataciones Ar-Ar | |

Agradecimientos

- A mi familia (Mara, Néstor, Juan, Maru, Tata y Gerardo) y novia (Mariana), quienes me apoyaron, ayudaron y aguantaron incondicionalmente durante todas las etapas (buenas y malas) de mi Tesis. Sin ellos la elaboración del presente trabajo hubiese sido imposible.

- A mis directores Diego Guido y Abel Schalamuk por creer en mí, por su apoyo incondicional y por las numerosas charlas y discusiones sobre la geología del Macizo del Deseado, la zona de estudio y las distintas etapas que llevaron a la realización del presente trabajo de Tesis Doctoral.

- A Remigio Ruiz por su ayuda e infinita paciencia durante las tareas de campo, gabinete y laboratorio. Sus sugerencias y comentarios “ácidos” fueron fundamentales para la realización de éste trabajo de Tesis.

- Un especial agradecimiento a Coeur Argentina S.R.L., especialmente a Alfredo Cruzat, Claudio Romo, Myriam Li, Dante Cussi, Guillermo “Willy” Romero, Gerónimo Candela, y demás personal de Mina Martha, no solo por el apoyo económico y logístico, sino también por la buena onda y por las valiosas discusiones sobre la geología y las mineralizaciones del área de estudio.

- A mis compañeros y amigos del INREMI, del CIG y de la vida (por suerte son muchos como para nombrarlos a todos), quienes aportaron sustancialmente al presente trabajo de Tesis mediante sus palabras de aliento y/o discusiones sobre metalogénesis, vulcanología, geología estructural, y/o sobre la geología del Macizo del Deseado.

- Otro especial agradecimiento va para Mauricio González Guillot por ayudarme desinteresadamente con muestras, mapas, análisis de microsonda y fotos de la mineralización de la Veta Martha, y especialmente por las palabras de aliento y la buena onda durante todas las etapas de elaboración del presente trabajo de Tesis.

- Gran parte del trabajo de identificación de la mineralogía de mena hubiese sido imposible sin la ayuda del experimentado “ojo de microsonda” de Miguel del Blanco y Mariana Bodaño, quienes colaboraron desinteresadamente en muchas ocasiones.

- Los estudios de inclusiones fluidas fueron posibles gracias al apoyo y colaboración de Javier Ríos, Tatiana Lima, Lucilia Ramos y todo el personal del CDTN (Belo Horizonte, Brasil). Gracias por el apoyo logístico y económico, y por hacernos sentir como en casa durante las 2 estadías de trabajo en el Laboratorio de Inclusiones Fluidas.

- Los análisis de isótopos estables fueron realizados gracias a la generosa colaboración de Clemente Recio y todo el personal del Servicio General de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca (Salamanca, España).

- El análisis de las alteraciones hidrotermales fue posible gracias a la generosa colaboración

de Ignacio Subías, Blanca Baluz y Ana Cedillo quienes tambien realizaron los estudios de microsonda electrónica. A María Eugenia “La Tota” Rodríguez y a MH Argentina S.A. por los análisis e interpretaciones realizadas mediante ASD. A Pablo García, Daniel Poiré y al Centro de Investigaciones Geológicas (CONICET-UNLP) quienes aportaron los análisis de difracción de Rayos X; y a Guido Borzi, Lucia Santucci y Erica Gómez por su ayuda con la separación de las muestras y minerales.

- Por último, un agradecimiento especial a todos aquellos que colaboraron en forma directa o indirecta, a sabiendas o sin darse cuenta, con acciones o ideas, al presente trabajo de tesis. Gracias por todos los consejos, ideas y/o sugerencias!

Finalmente, el presente trabajo de Tesis Doctoral fue posible gracias al generoso aporte de las siguientes instituciones:



Servicio General de Isótopos Estables
Universidad de Salamanca

Resumen

El yacimiento Mina Martha está ubicado en el sector sudoccidental del Macizo del Deseado. La mina es propiedad de la empresa Coeur Argentina SRL, una subsidiaria de Coeur d'Alene Mines Corporation, y está en explotación desde el año 2001. Desde el inicio de las actividades hasta finales de 2010, la mina produjo un total de 273.752 toneladas de mineral con leyes medias de 1.932 g/t Ag y 2,59 g/t Au, lo que equivale a un promedio de 34,8 g/t Au eq. El bajo tonelaje y las elevadas leyes características de Mina Martha permiten definirlo como un depósito de tipo bonanza dentro del espectro de yacimientos actualmente en producción en el Macizo del Deseado.

Trabajos previos interpretan al distrito donde se ubica el yacimiento (Distrito Cerro Primero de Abril) corresponde a un importante centro volcánico Jurásico caracterizado por un aparato volcánico de colapso de tipo caldera. Dentro de este esquema, el área de Mina Martha se encuentra ubicada en el sector centro sur de este distrito, en las proximidades del borde sur de la fractura anular de la caldera.

El vulcanismo de la región se caracteriza por una marcada naturaleza episódica, ya que luego de cada erupción (ignimbritas cristaloclásticas) le seguía una pausa que permitió la instalación de sistemas fluviales y lacustres con ecosistemas asociados (depósitos de tobas y tufitas). Intercalada dentro de este esquema se desarrolló un evento eruptivo fuertemente explosivo, caracterizado por el desarrollo de potentes paquetes de ignimbritas líticas. Estas ignimbritas se habrían originado por la mezcla de dos magmas, uno intermedio y otro ácido, pertenecientes a las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike, mezcla que habría gatillado la erupción y la formación de la caldera.

Todas las unidades volcánicas analizadas en el área de Mina Martha corresponden a rocas subalcalinas pertenecientes a la serie calcoalcalina, con alto potasio y naturaleza peraluminosa, características distintivas del vulcanismo Jurásico del Grupo Bahía Laura.

La cercana relación observada entre la caldera y los numerosos afloramientos de hot-spring observados en la región, sumada a la similitud entre las edades de la caldera ($156,9 \pm 0,7$ Ma) y la mineralización ($156,5 \pm 0,9$ Ma), permiten interpretar que el motor térmico para los sistemas hidrotermales presentes en la región (incluyendo Mina Martha) habría sido la cámara magmática responsable del colapso de la caldera. En función de los resultados de los isótopos estables, este cuerpo ígneo habría aportado el azufre, parte de los metales y parte de las aguas que dieron origen a la mineralización argentífera de Mina Martha.

La mineralización forma cuerpos vetiformes de hasta 5 m de espesor y varios cientos de metros de longitud, caracterizados por el desarrollo de texturas brechosas, bandeados costriformes, y texturas masivas con tamaños de grano medios a gruesos. Las vetas pueden ser divididas en tres sistemas de acuerdo a su orientación genera: un conjunto de estructuras de orientación NO-SE denominado Sistema Martha-R4; un segundo conjunto paralelo al anterior hacia el norte, denominado Sistema Isabel; y un tercer conjunto de estructuras de orientación general E-O desarrollado entre ambos, y que ha sido denominado Sistema del Medio.

En función de la mineralogía y las texturas observadas, el esquema paragenético definido para el yacimiento puede ser subdividido en tres grandes etapas que marcaron la evolución del depósito epitermal presente en Mina Martha, una etapa hidrotermal, una etapa tectónica, y una tercera etapa supergénica postmineral.

La etapa hidrotermal está dominada una mineralogía de mena compleja, formada por sulfuros de metales base y sulfosales de plata y cobre, que se presentan en cantidades variables, pero que pueden superar el 20 % en volumen. Mientras que la mineralogía de la ganga es relativamente sencilla, está compuesta por adularia, cuarzo, sericita (illita), y que localmente puede presentar cantidades subordinadas de clorita. La mineralogía observada define una asociación de metales dominada por Ag-Au-Cu-Pb-Zn-Sb-As, caracterizada por una relación Ag/Au de alrededor de 900:1.

Los cuerpos mineralizados están rodeados por un halo de alteración restringido, compuesto principalmente por la asociación adularia, cuarzo, sericita (illita), esmectita y cantidades menores de clorita. La mineralogía de la ganga y las alteraciones, junto con los estudios de inclusiones fluidas, indican que la mineralización se habría originado a partir de soluciones cloruradas neutras a levemente alcalinas, con temperaturas de entre 215,5 y 316,5 °C, y salinidades de entre 0,53 y 3,55 % NaCl eq. En función de estas observaciones, se puede clasificar al yacimiento Mina Martha como un depósito epitermal de sulfuración intermedia, perteneciente al subtipo de “ebullición profunda”.

En Mina Martha, la presencia de abundante adularia en la ganga de casi todos los episodios hidrotermales estaría evidenciando un proceso sostenido de ebullición a lo largo de casi toda la evolución del sistema hidrotermal. Este proceso sería el responsable de la depositación de los metales y habría ocurrido a una profundidad mínima de alrededor de 800 m por debajo del paleo-nivel freático; adicionalmente, la presencia de variaciones en los hábitos de adularia, indican la ocurrencia de modificaciones en las condiciones de permeabilidad bajo las cuales ocurrió este proceso.

Luego del evento hidrotermal la mineralización sufrió los efectos de un evento de deformación de tipo frágil vinculado a la reactivación tectónica de la zona de falla que contiene al sistema de vetas Martha-R4. El resultado de este evento fue el desarrollo de cuerpos irregulares de brechas de falla y cataclasitas foliadas que produjeron la removilización mecánica y química de los sulfuros y sulfosales formados anteriormente, contribuyendo de manera significativa en la formación de cuerpos de alta ley dentro del sistema Martha-R4.

Las partes más superficiales del yacimiento están dominadas por el desarrollo de una zona de oxidación de alrededor de 20 m de potencia que es seguida en profundidad por una pequeña zona de enriquecimiento supergénico de alrededor de 20 m de potencia. Esta etapa fue el resultado del descenso de aguas meteóricas frías (menos de 40°C), de naturaleza ácida y oxidante, que produjeron la destrucción de la mineralización en superficie y dieron origen a una zona de alteración rica en caolinita, plumbogummita y jarosita que se presenta sobreimpuesta al conjunto de alteraciones hipogénicas.

El ambiente tectónico activo al momento del funcionamiento del sistema hidrotermal registrado en Mina Martha corresponde a un régimen transtensivo caracterizado por una cinemática mixta de tipo normal-sinistral. Dentro de este esquema, el Sistema del Medio se habría originado como parte de una zona de transferencia “dura” (*hard-linked*) durante la reactivación de dos zonas de falla de orientación NO-SE (Zona de Falla Martha-R4 y Zona de Falla Isabel)..

La estructuración de la región jugó un papel fundamental en la consolidación de los clavos mineralizados presentes en el yacimiento, controlando la ubicación de las zonas de ascenso de las soluciones hidrotermales. De esta manera, los fluidos hidrotermales se concentraron en zonas de transferencia desarrolladas entre fallas de rumbo NO (Sistemas Martha-R4 e Isabel), y dentro de estas zonas aprovecharon las intersecciones entre las diferentes estructuras para canalizar y concentrar el

pasaje de los fluidos mineralizantes.

La estructura y las características fisicoquímicas del sistema hidrotermal se combinaron para determinar la geometría final de los clavos mineralizados del yacimiento. De esta manera, el desarrollo de una zona o nivel de ebullición de entre 100 y 150 m de espesor condicionó la formación de los clavos de primer orden. Dentro de este nivel, los fluidos ascendentes aprovecharon zonas de apertura localizada, como los sigmoides, para canalizar y concentrar aún más las soluciones, y dar origen de esa manera a los sectores de mayor ley dentro del yacimiento (clavos de segundo orden). Por último, los eventos post-mineralización de fallamiento produjeron el desplazamiento y la segmentación de los cuerpos mineralizados, dándole el aspecto actual.

De esta manera, los elevados contenidos de plata reconocidos en Mina Martha son el resultado de una combinación única de factores volcanológicos, estructurales y metalogenéticos que se conjugaron para dar lugar a la formación del primer depósito epitermal de sulfuración intermedia registrado en el Macizo del Deseado.

Abstract

The Martha underground silver deposit is located in the southwestern portion of the Deseado Massif. The mine is operated by Coeur Argentina SRL, a subsidiary of Coeur d'Alene Mines Corporation, and has been under production since 2001. The mine produced a total of 273.752 tons of mineral with an average grade of 1.932 g/t Ag y 2,59 g/t Au. Based on the low tonnage and high grades, Martha Mine can be defined as a bonanza type deposit within the spectrum of ore deposits observed in the Deseado Massif.

Mineralization is hosted in Jurassic acid volcanic rocks of the Bahia Laura Volcanic Complex. Previous works on the district (Primero de Abril District), defined an important Jurassic volcanic center characterized by a caldera volcanic structure. Within this scheme, Martha Mine is located close to the southern edge of the collapse structure.

The Jurassic volcanism is characterized by an episodic nature dominated by explosive pyroclastic eruptions (crystal rich ignimbrites), each one followed by quiescence periods dominated by fluvial and lacustrine sediments (reworked pyroclastic sediments). Interbedded within this sequence, a highly explosive volcanic event occurred, giving rise to a thick unit of lithic rich ignimbrites. These rocks are the result of the mixing of two different types of magmas, a rhyolitic one (similar to the Chon Aike Fm. Composition) and an andesitic magma (close to the Bajo Pobre Fm. Composition). This mixing is interpreted as the main trigger for the eruption and the subsequent formation of the caldera collapse structure. All analyzed volcanic units share the same subalkaline, calcoalkaline, high potassium and peraluminous geochemical signature with the Bahia Laura Volcanic Complex.

The close spatial association between the caldera and numerous hot-spring manifestations, along with the close ages determined for the caldera eruption (156.9 ± 0.7 Ma) and the mineralization at Martha Mine (156.5 ± 0.9 Ma), allows to interpret that the magmatic chamber responsible of the lithic ignimbrite eruption and caldera collapse, acted as the heat source for the hydrothermal cells that originated the epithermal veins at Martha Mine. Stable isotopes determined on ore and gangue minerals from Martha Mine also support a magmatic source for the sulfur, and at least part of the water and metals that generated the mineralized veins.

Mineralization at Martha Mine is characterized by several hundred meters long, and up to 5 m thick veins, dominated by breccias and massive textures, with minor coniform banding. Martha Mine veins can be grouped into three major vein trends according to their general orientation and location. First, the main NW-SE trending veins, including Martha Oeste, Martha, R4, Martha Este, Martha Sur and Sugar Hill form a structure referred to as the Martha-R4 vein system. Second, in a parallel array but towards the east, the Isabel and Isabel Oeste veins represent the Isabel vein system. Third, the Del Medio vein system represents all the E-W trending veins including Nordeste, R4A, Belén, Francisca, Catalina and Futuro, and is located within a horst structure defined by the Martha-R4 and Isabel structures.

Based on the main mineralogy and textures attributes, the paragenetic sequence of the deposit can be divided into three main evolutive stages: an hydrothermal stage, a tectonic stage, and a post-mineral supergenic stage.

The main hydrothermal stage is dominated by a complex ore mineralogy, composed of up to 20% volume of base metal sulfides and silver sulfosalts. Gangue mineralogy is much simpler, mainly adularia, quartz and sericite (illite), and locally minor amounts of chlorite. Most veins are surrounded by restricted

alteration halo composed mainly by adularia, quartz, sericite (illite), smectite, and minor amounts of chlorite. The ore mineralogy defines a metal association of Ag-Au-Cu-Pb-Zn-Sb-As, with a Ag/Au ratio of about 900:1. Gangue and alteration mineralogy, along with fluid inclusion studies show that the mineralization formed from neutral to slightly alkaline, chloride rich solutions with temperatures of 215.5 to 316.5 °C, and salinities around 0.53 y 3.55 % NaCl eq. Based on this observations, Martha Mine can be classified as an epithermal deposit of intermediate sulfidation, of the deep boiling subtype. The presence of large amounts of adularia during the entire hydrothermal stage suggests that a sustained boiling process was the responsible of the ore deposition. Fluid inclusion studies indicate a deep boiling horizon, located at about 800 m below the paleo-water table. Furthermore, the presence of variations on the morphology of adularia crystals, suggests important permeability changes during fluid circulation.

After the main hydrothermal event, a brittle deformation stage occurred on the fault system hosting the Martha-R4 and Isabel vein systems. The result was the development of irregular shaped bodies of tectonic breccias and foliated cataclasites, with the consequent chemical and mechanical remobilization of previously deposited sulfides and sulfosalts. Where is present, this stage produces a significant increase in the grade of many ore shoots within the deposit.

The upper part of the deposit was affected by the development of a post-mineralization 20 m thick oxidation zone, followed in depth by a 20 m thick secondary enrichment horizon. This stage is the result of descending meteoric waters of oxidizing and acidic nature. These relatively cold solutions (less than 40° C) produced the chemical mobilization and reconcentration of the silver from the surface into the secondary enrichment horizon, leaving behind an oxidized zone characterized by an alteration composed of kaolinite, jarosite and plumbogummite.

The tectonic setting at the onset of the hydrothermal system is interpreted to be a sinistral transtensive horst structure delimited by the Martha-R4 and Isabel structures. Within this model, the geometries of the three main vein trends are interpreted as a hard-linked extensional step-over, where the Del Medio vein trend developed as second-order structures in response to growth and linkage of two overlapping, first-order structures composed of the Martha-R4 and Isabel vein trends.

The close relationship between high grades and locations of vein intersections, dilatational jogs and step-overs suggest that structure played a significant role during ore deposition, probably controlling preferential pathways for hydrothermal solutions to be focused and concentrated, leading to ore deposition.

At the deposit scale, the up-flowing hydrothermal solutions are interpreted to have been concentrated on the hard linked step-over zone developed between the two NW master trending structures, in a similar way as has been described for many hydrothermal. Within the step-over area, hydrothermal ascending fluids took advantage of intersections within the two main vein trends, focusing the hydrothermal outflow.

At the scale of a single vein, the geometry of the fluid channels combined the development of a boiling horizon was the controlling factor on the geometry of the ore shoots. Accordingly, the onset of a 100-150 m thick boiling horizon was the responsible of the formation of the first order ore shoots; while the presence of preferred opening areas such as jogs and small sized step-overs channelized and concentrated the hydrothermal solutions to give rise to the high grade portions of the veins (second order ore shoots). Lately, the mineralisation was modified by a complex post-mineral faulting event, producing dislocation of ore-bodies and segmentation of both high grade ore-shoots.

Finally, the high silver grades observed at Martha Mine are the result of a unique combination of volcanological, structural and metallogenic factors resulting on the formation of the first intermediate sulfidation epithermal deposit registered in the Deseado Massif.

Capítulo 1:

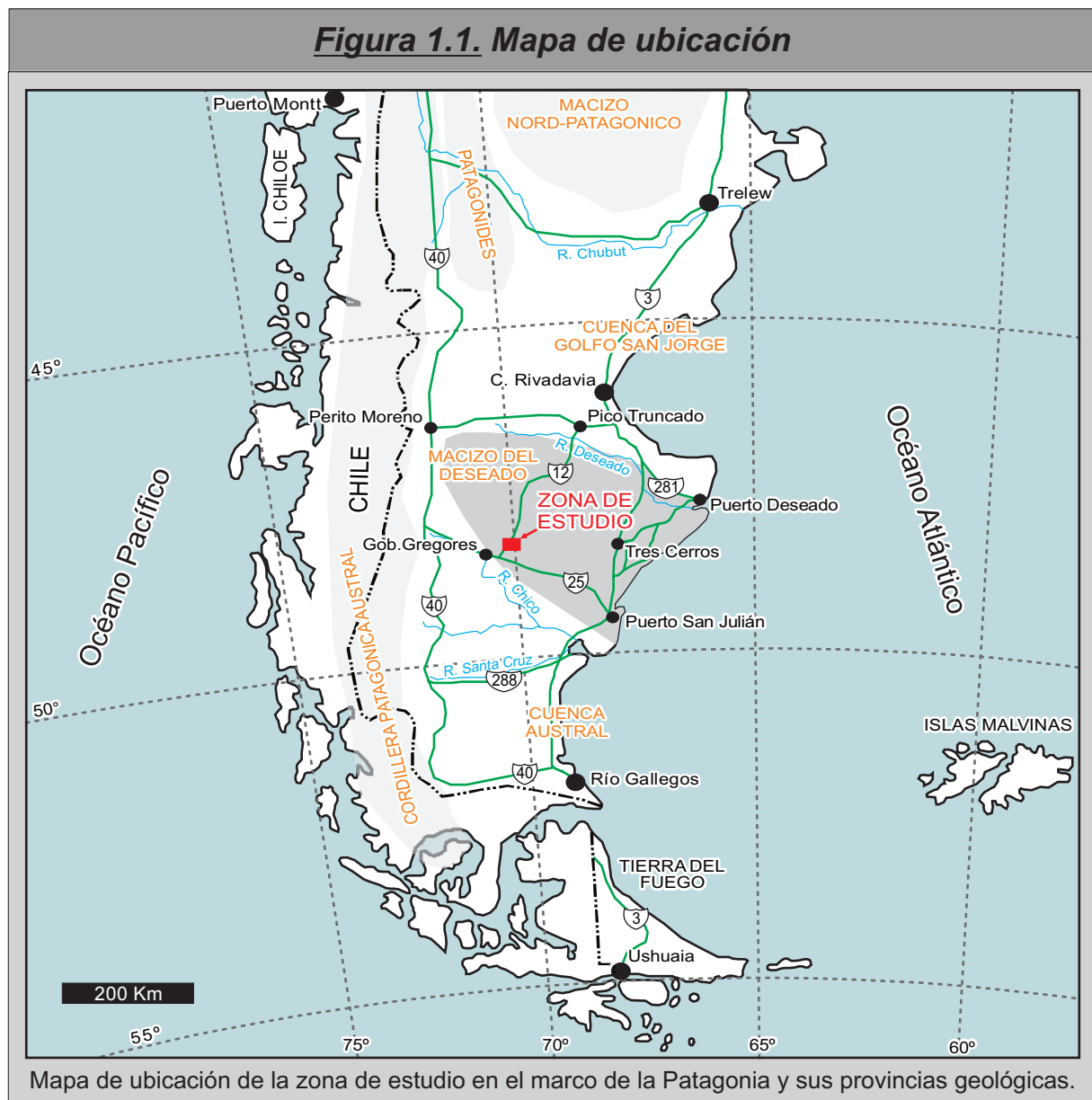
Introducción al área de estudio.

1.1. Introducción y ubicación del área de estudio

El yacimiento argentífero Mina Martha se encuentra ubicado en el sector sudoccidental del Macizo del Deseado, a unos 50 km al NE de la localidad de Gobernador Gregores (Figura 1.1). Está en explotación desde el año 2001 y es propiedad de la empresa Coeur Argentina SRL, subsidiaria de Coeur d'Alene Mines Corporation.

Mina Martha se convirtió en Junio de 2002 en el segundo yacimiento de metales preciosos en entrar en producción en la región (Páez *et al.*, 2008). Se trata de un sistema de vetas de cuarzo-adularia alojadas en las rocas de la Fm. Chon Aike. Las estructuras mineralizadas comprenden múltiples episodios de relleno y brechamiento, con una mineralización de muy alta ley principalmente argentífera con oro y metales base asociados (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004). Posee una elevada relación Ag:Au, que oscila entre 900-1000:1 y una zona de alteración hidrotermal restringida, conteniendo adularia y cuarzo-

Figura 1.1. Mapa de ubicación



Mapa de ubicación de la zona de estudio en el marco de la Patagonia y sus provincias geológicas.

calcedonia \pm sericita. La extracción es por métodos subterráneos (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004 y 2008; Páez *et al.*, 2008).

1.2. Trabajos previos en la zona

El Macizo del Deseado se caracteriza por la presencia de numerosos depósitos y manifestaciones epitermales, lo que permitió que Schalamuk *et al.* (1999) definiesen a esta región como una provincia metalogénica auroargentífera. La mayoría de las mineralizaciones epitermales observadas en el área pueden clasificarse como del tipo Baja Sulfuración (Guido and Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008), sin embargo durante la última década se han definido algunos depósitos de tipo Polimetálico y otros de tipo Sulfuración Intermedia (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004; Guido *et al.*, 2005; Jovic *et al.*, 2010).

El sistema de vetas presente en Mina Martha fue descubierto por la Compañía Minera Polimet, subsidiaria de Yamana Resources Inc., quienes lo bautizaron Proyecto Bacon (Figura 1.2; Bradley y Walters, 1999). El descubrimiento de los sectores de alta ley fue realizado durante una campaña de reconocimiento desarrollada en Abril de 1997, donde muestreos arrojaron valores en superficie de hasta 1250 g/t Ag. En función de estos resultados se realizó una corta campaña de perforaciones de reconocimiento durante 1998, definiendo los primeros sectores de alta ley, con contenidos mayores a 5000 g/t Ag (Páez *et al.*, 2008).

Este descubrimiento llevó a la planificación de un intenso programa de perforaciones durante 1999, a lo largo de 75 metros en el rumbo de la veta Martha. Los resultados obtenidos permitieron definir tres

Figura 1.2. Mina Martha en el año 1999

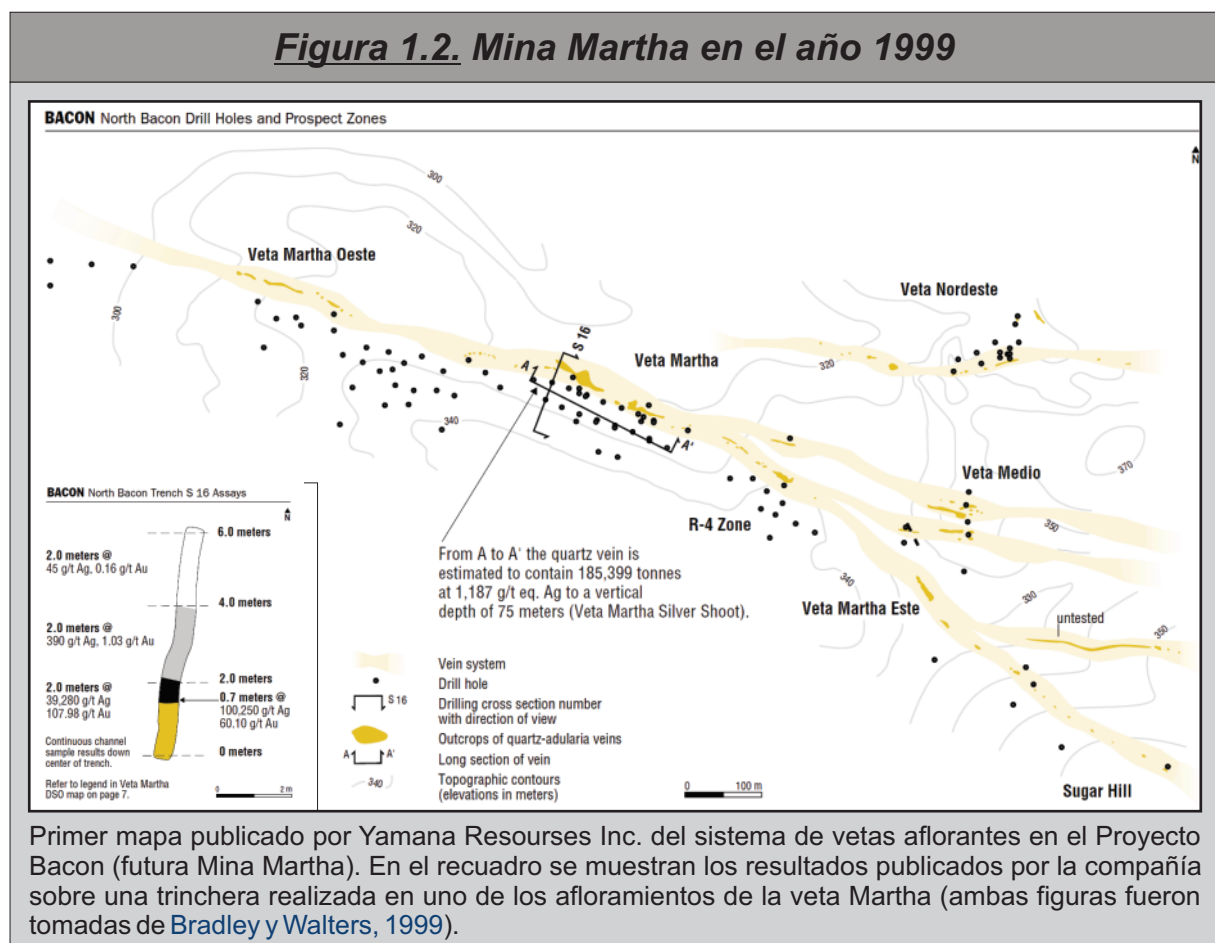
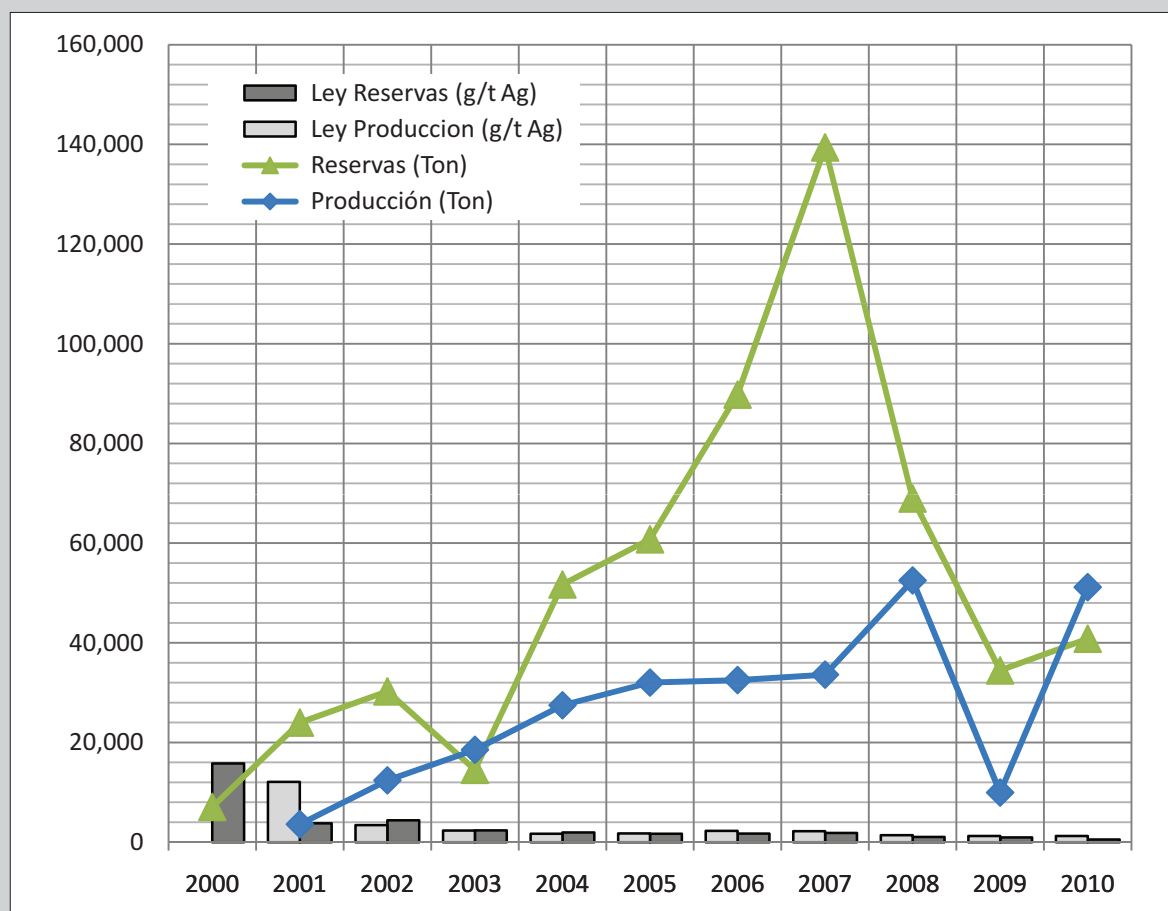


Figura 1.3. Producción vs. reservas del yacimiento

Gráfica mostrando la evolución de la producción y las reservas presentes en el yacimiento (Datos compilados de Páez *et al.* (2008), Sims (2010) y Krebs y Wheeler (2011)).

bolsones contiguos de muy alta ley ("Veta Martha Silver Shoot"), con tenores tan elevados que permitían su embarque directamente a fundición. Considerando una profundidad de 35 metros, estos bolsones, contenían recursos por unas 3,7 millones de onzas equivalentes de plata (con una ley de corte de 5000 g/t Ag eq.) dentro de 6.259 toneladas de mena con ley promedio del orden de 15.000 g/t Ag (Páez *et al.*, 2008).

En el año 2000 la empresa recibió la aprobación del estudio de impacto ambiental para la construcción de la mina, y firmó un acuerdo con un contratista para llevar a cabo el desarrollo y minado del yacimiento. Dichas tareas estaban planeadas para comenzar en Septiembre y Diciembre respectivamente, sin embargo el inicio de la producción fue postergado hasta Enero del 2001 (Torres 2002; Páez *et al.*, 2008).

El primer envío de mineral partió en Febrero de 2001, y las tareas de minado y envío continuaron hasta Agosto de 2001, cuando una fuerte tormenta de nieve interrumpió las operaciones. Los envíos de mineral desde las pilas de acopio se retomaron en Octubre y se sucedieron hasta Diciembre de 2001, sin embargo las operaciones de minado nunca fueron retomadas (Torres 2004; Páez *et al.*, 2008).

Durante la corta vida de las operaciones realizadas por Yamana Resources Inc. en Mina Martha, se realizaron 17 envíos que totalizaron unas 3.628 toneladas de mineral (Figura 1.3), que luego de su paso por la fundición rindieron un total de 1.840.000 oz de Ag eq. Esto representó un 20% menos de las toneladas y un 40% menos de las onzas planeadas originalmente. Esta diferencia se debió principalmente a malos inviernos que atrasaron la producción, el uso de métodos de minado

posiblemente inapropiados, y leyes inferiores a las anticipadas originalmente. Esta deficiencia en los contenidos de plata obtenidos, sumado al descenso de los precios de la plata hacia fines del 2001 hizo que Yamana tomara la decisión de buscar un comprador para las operaciones (Páez *et al.*, 2008).

En Abril de 2002, Coeur Argentina S.R.L. compro el 100% de las acciones de la Compañía Minera Polimet. Con esta compra Coeur adquirió Mina Martha y un paquete de proyectos altamente prospectivos alrededor del área de operaciones, que totalizaban unas 65.000 Ha. En ese momento Mina Martha poseía un estimado de 24.000 tn de recursos y reservas (Figura 1.3), con una ley promedio de 2,66 g/t Au y 3.776 g/t Ag (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010). El plan de desarrollo y explotación estuvo basado en almacenamiento de zafras (shrinkage stoping). Se seleccionó un contratista y el desarrollo de la mina comenzó en Mayo de 2002 (Figura 1.4). El transporte del mineral se inició a finales de Junio de 2002. Algo de mineral fue extraído durante las tareas de desarrollo, sin embargo la mayoría del mineral transportado durante los dos primeros meses de actividad provino de las pilas de acopio dejadas en superficie por las actividades extractivas desarrolladas por Yamana. Para agosto de 2002, las pilas se agotaron y el mineral enviado provenía en su totalidad de las áreas desarrolladas de interior mina. El mineral extraído en Mina Martha era transportado en camiones más de 900 km para ser procesado en la planta de la Mina Cerro Bayo ubicada en Chile Chico, República de Chile, también propiedad de Coeur (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010).

Hacia fines de 2002, fue descubierto un recurso de menor ley justo al este de los trabajos subterráneos. Una evaluación de este recurso mostró que era factible de ser extraído mediante minería de superficie. Se diseñó y abrió un rajo, y las actividades de minado superficial comenzaron en Diciembre

Figura 1.4. Actividades extractivas en Mina Martha



Trabajos mineros en el área de Mina Martha. a) Vista del sitio de la mina en el año 2002; b) vista general del yacimiento en el año 2009; c) y d) Trabajos extractivos en los laboreos subterráneos (las fotos a y c son una cortesía de Coeur Argentina).

de 2002. La exploración desarrollada en inmediaciones de Mina Martha en 2002, también definió una nueva zona de alta ley llamada R4, 100 m al este de la mina. La rampa de acceso a la veta R4 se inició en Julio de 2003 y la extracción de mineral fue en Octubre de 2003. Durante ese año también se realizaron tareas exploratorias adicionales en las áreas R4, R4A, Nordeste y en el sector de las Vetas Del Medio, que permitieron reconocer otros sectores de alta ley (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010). Las actividades de exploración del 2004, permitieron dar a conocer el descubrimiento de dos nuevas estructuras mineralizadas con alta ley llamadas Francisca y Catalina. También en el 2004, se perforaron las vetas existentes en profundidad, permitiendo identificar varias áreas nuevas con alta ley en las Vetas Martha, R4, Del Medio, Del Medio Norte, y Belén. Hacia finales del 2004, las reservas se habían incrementado en un 290% respecto al 2003 (Figura 1.3).

Durante el año 2005, Coeur anunció el descubrimiento de la veta Betty Oeste, ubicada a menos de un kilómetro al norte de la mina. Adicionalmente, las tareas exploratorias también definieron la extensión de las zonas mineralizadas de las vetas Martha y R4. Ese año las reservas se ampliaron en un 59% con respecto al año anterior (Figura 1.3; Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010). La exploración desarrollada durante el 2006 se enfocó principalmente en definir la continuidad a lo largo del rumbo y en profundidad de las estructuras mineralizadas Martha, R4, Catalina y Francisca. Como resultado las reservas incrementaron un 50% respecto al 2005 y se comenzó a construir una planta de procesamiento (Figura 1.4).

Durante el año 2007 se completó la construcción de una pequeña planta de concentración por flotación, que fue terminada hacia finales del año. Desde entonces todo el mineral extraído del yacimiento ha sido procesado en el lugar. Finalmente, desde el año 2008 hasta la actualidad no se han encontrado nuevos cuerpos mineralizados en el yacimiento, por lo que las reservas de la mina han ido en disminución desde entonces (Figura 1.3; Sims, 2010; Krebs y Wheeler, 2011).

Por último, desde el descubrimiento del yacimiento en el año 1997 se han realizado un número reducido de trabajos científicos en el área (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004 y 2008; Márquez-Zavalía *et al.*, 2008; Páez *et al.*, 2008; Cedillo Frey *et al.*, 2009; Baluz *et al.*, 2010); de esta manera, el sistema de vetas presente en Mina Martha ha permanecido relativamente poco estudiado hasta el presente. En este marco, los trabajos de Gonzalez Guillot *et al.* (2004 y 2008) y Márquez-Zavalía *et al.* (2008) se enfocaron principalmente en la mineralogía de la mena, presentando un esquema paragenético simplificado de la mineralización y un estudio parcial de las sulfosales presentes en el yacimiento. Por otro lado, los trabajos de Cedillo Frey *et al.* (2009) y Baluz *et al.* (2010) se enfocaron mayormente en caracterizar las alteraciones hidrotermales observadas en sectores de baja ley dentro del yacimiento.

1.3. Objetivos, plan de trabajo y estructura de la presente Tesis Doctoral

1.3.1. Objetivos

El objetivo general de la presente tesis es avanzar en el entendimiento de la geología y las mineralizaciones presentes en el yacimiento argentífero Mina Martha. Dentro de este esquema se intentará avanzar sobre los siguientes aspectos:

- Reconocer y estudiar en detalle las unidades geológicas presentes en el área, determinar su ambiente y procesos de formación.

- Obtener datos petrográficos, geoquímicos e isotópicos de las unidades geológicas, que permitan reconstruir los procesos volcánicos actuantes en el área.
- Caracterizar las mineralizaciones: alteraciones hidrotermales, pulsos actuantes, mineralogía, tipos de fluidos mineralizantes, edad de las mineralizaciones y origen de los metales.
- Obtener datos petrográficos, calcográficos, mineralógicos, geoquímicos, isotópicos y de inclusiones fluidas de las mineralizaciones y sus rocas asociadas, que permitan caracterizarlas en detalle.
- Determinación de la relación espacial, temporal y genética entre las mineralizaciones y las unidades geológicas presentes en el área.
- Estudiar la estructura del área, caracterizando y determinando la relación de la misma con las unidades geológicas y la mineralización.
- Definir la génesis del yacimiento argentífero Mina Martha y comparar los resultados obtenidos con otros sectores del Macizo del Deseado.

1.3.2. Plan de trabajo

Con el fin de alcanzar los objetivos planteados en la sección anterior, se diagramó un plan de trabajo dividido en tres etapas de trabajo consecutivas.

La primer etapa se enfocó en los trabajos de campo donde se realizaron: análisis de los antecedentes éditos e inéditos del área; tareas de mapeo regional (1:50.000) y de semidetalle (1:5.000); muestreo de las unidades geológicas aflorantes; estudio detallado de testigos corona provenientes de perforaciones realizadas en la zona; estudio detallado de las labores mineras accesibles (galerías, piques, etc); muestreo específico de las mineralizaciones en superficie, labores mineras y perforaciones. Finalmente se realizó la integración de toda la información disponible en un Sistema de Información Geográfica (GIS), que permita manejar la información en una base de datos geoposicionada para toda el área Mina Martha.

La segunda etapa se enfocó en trabajos de gabinete donde se llevaron a cabo las siguientes tareas: estudios petrográficos de las unidades geológicas; estudios geoquímicos de roca (mayoritarios, trazas y tierras raras); geocronología de roca y mineralización; estudios petrográficos, calcográficos y de rayos X de las mineralizaciones y alteraciones hidrotermales; estudios de inclusiones fluidas en minerales de ganga (cuarzo, adularia) y mena (en minerales opacos con infrarrojo); y por último análisis isotópicos de la mineralización.

Finalmente, y a partir del procesamiento de los datos y la información obtenida en las etapas anteriores, se realizó una tercera etapa de interpretación integral abarcando los aspectos geológicos y de las mineralizaciones que dio por resultado el presente trabajo de Tesis Doctoral.

1.3.2. Estructura del presente trabajo de Tesis

La presente Tesis Doctoral ha sido organizada en un total de cinco capítulos: una introducción, tres capítulos donde se presentan y discuten las observaciones y resultados obtenidos, y un capítulo final con

conclusiones. Cada uno de los capítulos está organizado con una introducción, un desarrollo y unas consideraciones finales, de manera que cada uno pueda ser leído en forma independiente al resto, es por este motivo que cada capítulo también incluye una lista de las citas mencionadas en el texto.

En el Capítulo 1 se introduce al lector a la zona de estudio, mostrando su ubicación en el marco geográfico de la Patagonia, se discuten someramente los antecedentes de la zona, para finalmente discutir la forma en la cual se presenta la información dentro del presente trabajo de Tesis.

El Capítulo 2 describe el ambiente geológico en que se encuadra el yacimiento. Para ello se realiza una caracterización de las distintas facies volcánicas observadas en el área, discutiendo aspectos texturales y geoquímicos de las distintas unidades que conforman la roca de caja del sistema de vetas.

En el Capítulo 3 se realiza una caracterización de la mineralización observada con el fin de determinar la naturaleza de los fluidos hidrotermales que dieron origen al sistema de vetas presente en el yacimiento. Para esto discuten el esquema paragenético de las vetas, la mineralogía de la mena y la ganga, las alteraciones hidrotermales observadas y los análisis de inclusiones fluidas e isótopos estables.

El Capítulo 4 se centra en los controles estructurales que actuaron como trampas para los fluidos hidrotermales durante la formación del depósito. Para esto se realiza una descripción detallada de la estructuras syn y post-minerales observadas en el yacimiento, se analiza la cinemática de las estructuras mineralizadas y se discuten los controles que ejerció la estructura sobre los contenidos de metales.

Finalmente, el Capítulo 5 recopila las observaciones e interpretaciones de los capítulos anteriores con el fin de elaborar un modelo metalogénico que explique los factores que condicionaron la formación del yacimiento Mina Martha en el marco regional del Macizo del Deseado.

1.4. Referencias

- BAULUZ, B., CEDILLO, A., SUBIAS, I., PÁEZ, G. N., RUIZ, R., GUIDO, D. M., 2010. Hydrothermal clays at the Futuro Vein, Martha Mine silver epithermal deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Trilateral Meeting on Clays (2010TMC), Abstracts. Spain.
- BRADLEY, V.H., WALTERS, R.R., 1999. Yamana Resources Inc. annual report. 24p. Available at: <http://www.sedar.com>
- CEDILLO FREY, A., PÁEZ, G. N., RUIZ, R., BAULUZ LÁZARO, B., SUBÍAS PÉREZ, I., 2009: Mineralogía de la alteración hidrotermal en el yacimiento epitermal Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina. Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (Macla) 11: 57-58.
- ECHAVARRÍA, L.E., SCHALAMUK, I.B.A., ETCHEVERRY, R.O., 2005. Geologic and tectonic setting of Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. Journal of South American Earth Sciences 19: 415-432.
- FERNÁNDEZ, R.R., BLESÁ, A., MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., MYKIETIUK, K., ANDRADA DE PALOMERA, P., TESSONE M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. Revista de la Asociación Geológica Argentina 63 (4): 665-681.
- GUIDO, D., SCHALAMUK, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. In: Eliopoulos *et al.* (editors). Mineral Exploration and Sustainable Development. Balkema-Rotterdam, Vol I: 493-496.
- GUIDO, D.M., JOVIC, S.M. AND SCHALAMUK I.B., 2005. A new metallogenic association (Sn-Cd-In-Zn-Ag-Au) in the Deseado Auroargentiferous province, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge-8th SGA Meeting, Beijing, China, Volume 2: 965-968.
- GONZALEZ GUILLOT, M., DE BARRIO, R., GANEM, F., 2004. Mina Martha, un Yacimiento Epitermal Argentífero en el Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Río Cuarto.
- GONZALEZ GUILLOT, M., BIEL SORIA, C., FANLO

GONZALEZ, I., SUBIAS PEREZ, I., MATEO GONZALEZ, E., 2008. Cobres grises y sulfosales de Plata del Yacimiento Epitermal de Mina Martha, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz (Argentina). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*. Macla (9):127-128.

- JOVIC, S.M., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., RÍOS, F.J., TASSINARI, C.C.G., RECIO, C., 2010. Pingüino In-bearing polymetallic vein deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina: characteristics of mineralization and ore-forming fluids. *Mineralium Deposita* 45: 735-763.

- KREBS, M.J., WHEELER, D.E., 2011. Coeur D'Alene Mines Corporation, Annual Report: Form K-10. 143 p. Available at: <http://www.sedar.com>

- MÁRQUEZ-ZAVALÍA, M.F., BINDI, L., MÁRQUEZ, M., MENCHETTI, S., 2008. Se-bearing polybasite-Tac from the Martha Mine, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 94 (1): 145 - 150.

- PÁEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 895-896. Jujuy, Argentina. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.

- PANZA, J., MARÍN, G., ZUBIA, M., 1998. Descripción de la Hoja Geológica 4969-I Gobernador Gregores, provincia de Santa Cruz. Programa Nacional de Cartas Geológicas de la República Argentina. SEGEMAR.

- SIMS, J., 2010. Martha Mine, Santa Cruz, Argentina: NI 43-101 Technical Report. 105 p. Available at: <http://www.sedar.com>

- TORRES, I. E., 2002. The Mineral Industry of Argentina. En: *Minerals Yearbook 2000, Volume 3: International Mineral Industries of Latin America and Canada*, Chapter 2: 1-10. USGS. Disponible en <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>

- TORRES, I. E., 2004. The Mineral Industry of Argentina. En: *Minerals Yearbook 2001, Volume 3: International Mineral Industries of Latin America and Canada*, Chapter 2: 1-10. USGS. Disponible en <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/myb.html>

- SCHALAMUK, I., DE BARRIO, R., ZUBIA, M., GENINI, A., ECHEVESTE, H., 1999. Provincia Auroargentífera del

Deseado, Santa Cruz. In: *Recursos Minerales de la República Argentina* (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188.

- SCHALAMUK, I., DE BARRIO, R.E., ZUBIA, M.A., GENINI, A. Y VALVANO, J., 2002. Mineralizaciones auroargentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico, provincia de Santa Cruz. XV Congreso Geológico Argentino, Relatorio Cap. IV-1: 1-35.

Capítulo 2:

Marco geológico del yacimiento Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina.

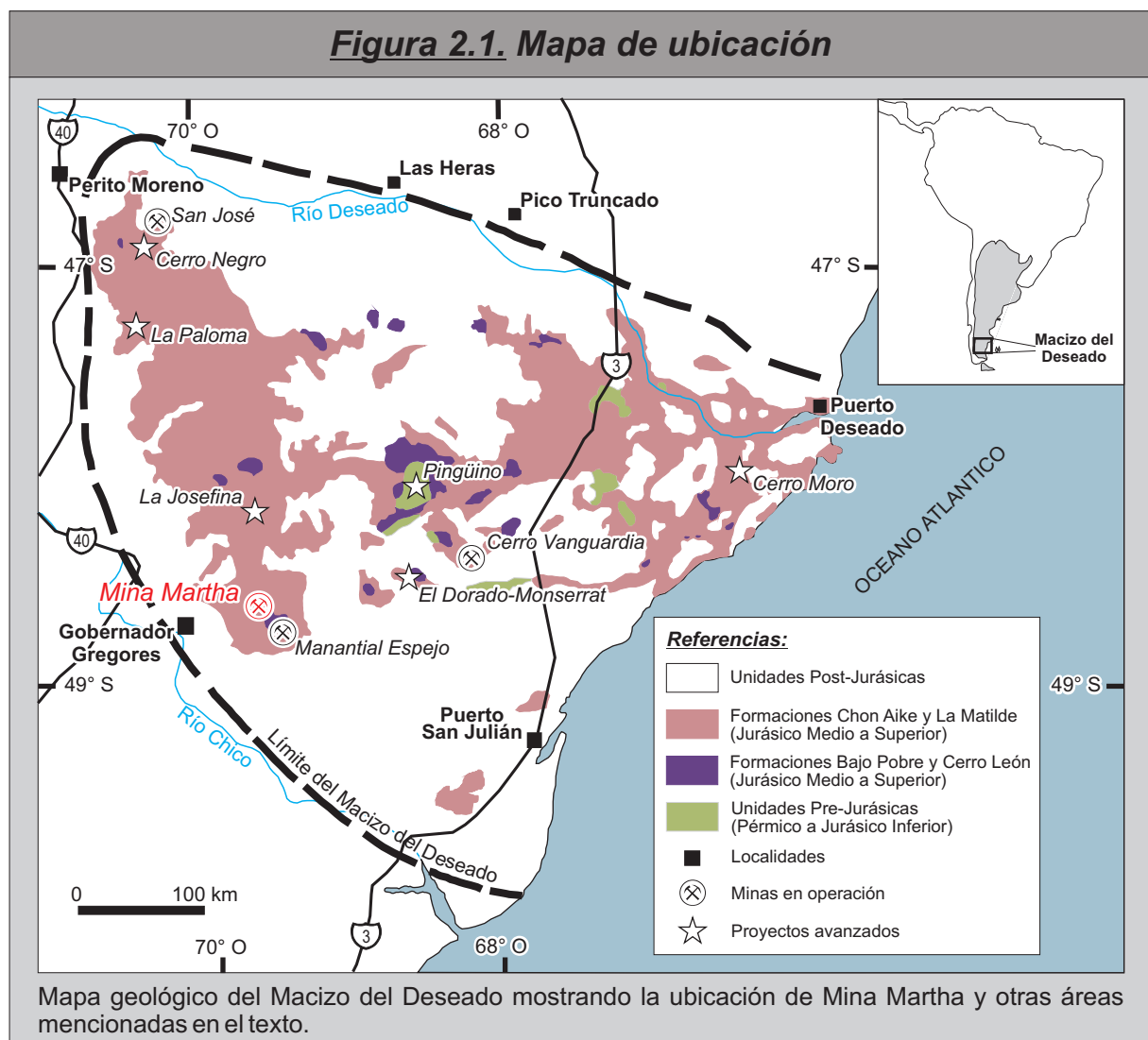
2.1. Introducción

El área objeto del presente estudio está ubicada en la parte sudoccidental del Macizo del Deseado (Figura 2.1). Se encuentra localizada a 50 Km al NE de la localidad de Gobernador Gregores, Santa Cruz; e incluye al depósito argentífero Mina Martha perteneciente a la empresa Coeur Argentina.

Mina Martha se convirtió en Junio de 2002 en el segundo yacimiento de metales preciosos en entrar en producción en la región (Páez *et al.*, 2008). Se trata de un sistema de vetas de cuarzo-adularia alojadas en las rocas de la Fm. Chon Aike. Las estructuras mineralizadas comprenden múltiples episodios de relleno y brechamiento, con una mineralización de muy alta ley principalmente argentífera con oro y metales base asociados (este trabajo, capítulo 3). Posee una elevada relación Ag:Au, que oscila entre 900-1000:1 y una zona de alteración hidrotermal restringida, conteniendo adularia y cuarzo-calcedonia \pm sericita. La extracción es por métodos subterráneos (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004 y 2008; Páez *et al.*, 2008).

En este capítulo se describen las unidades volcano-sedimentarias presentes en las inmediaciones del

Figura 2.1. Mapa de ubicación



yacimiento, tanto en superficie como en subsuelo. Utilizando las relaciones de campo, estudios petrográficos y geoquímicos, se propone un modelo evolutivo para el vulcanismo de la zona, y se plantea una revisión de la estratigrafía formal del vulcanismo jurásico del Macizo del Deseado en función de los datos obtenidos.

2.2. Metodología

2.2.1. Trabajos de gabinete

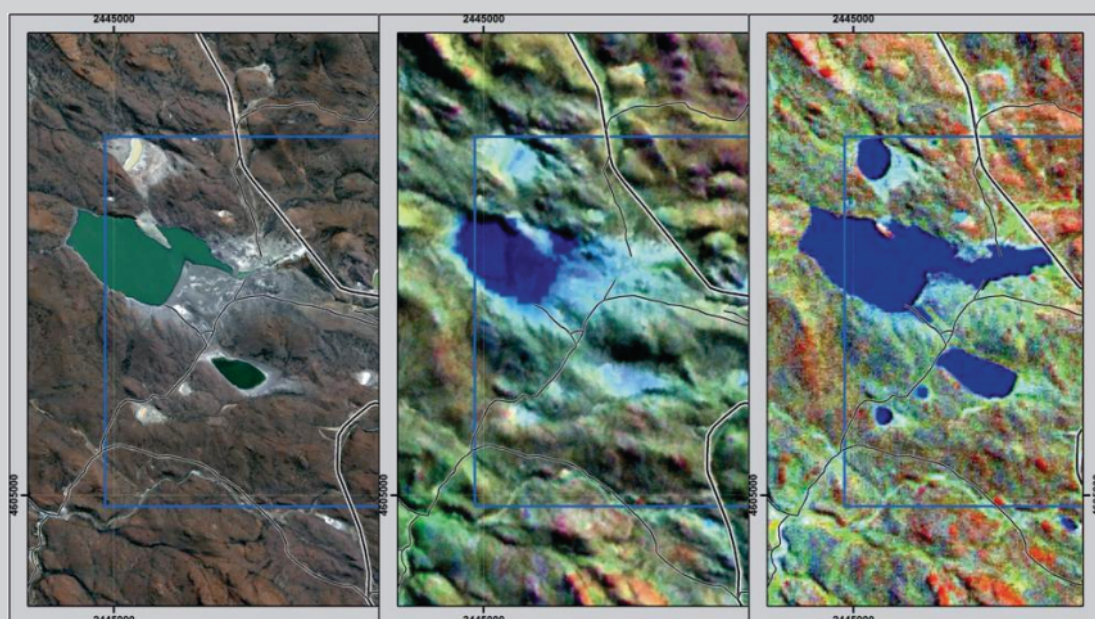
Los trabajos de gabinete realizados previamente a las tareas de campo comprendieron esencialmente la compilación y análisis de la información proporcionada por Coeur Argentina (mapas e imágenes satelitales) y la preparación del material necesario para llevar adelante el mapeo.

Se contó con 18 mapas de detalle (escalas 1:1.000 y 1:500) de las zonas aledañas al área de operaciones de Mina Martha, y 2 mapas de semidetalle correspondientes al sector ubicado al oeste del área de operaciones (1:10.000). Adicionalmente se pudo contar con una integración de mapas de detalle a escala 1:2.000. Estos fueron procesados y volcados en un Sistema de Información Geográfica (GIS) para su rápida visualización y análisis.

Además, Coeur Argentina facilitó imágenes satelitales Quickbird y Aster. La primera posee una combinación de bandas en color real (Figura 2.2), con una resolución espacial de 0,6 m; esta imagen abarca completamente el área de estudio. La imagen Aster comprende un sector importante de la parte sudoccidental del Macizo del Deseado y posee una resolución espacial de 15 m (Figura 2.2). Ambas imágenes fueron entregadas preprocesadas y lo único que se realizó fue un ajuste en la georeferenciación. Luego de las correcciones, estas imágenes fueron también cargadas en el GIS.

El INREMI cuenta con imágenes Landsat TM 5 (30 m de resolución espacial), con combinación de

Figura 2.2. Metodología



Ejemplos de los tres tipos de imágenes utilizadas para el mapeo geológico. A la izquierda imagen Quickbird (0,6 m de resolución). En el centro imagen TM-Spot (10 m de resolución). A la derecha imagen Aster (15 m de resolución).

bandas RGB 741, la que mejor optimiza la discriminación litológica. La TM se fusionó con la imagen pancromática del satélite Spot (Imagen TM-Spot), que permitió reducir la resolución espacial a 10 m (Figura 2.2). Se mejoró la georeferencia de esta imagen utilizando las imágenes proporcionadas por la empresa.

Tanto la imagen TM-Spot como la imagen Aster poseen un tamaño de píxel óptimo para la realización de mapeos geológicos regionales a escalas 1:25.000 y más pequeñas. En tanto que la imagen Quickbird permite realizar mapeos detallados, siendo la escala óptima para relevamientos geológico-mineros 1:5.000.

Finalmente, se realizaron impresiones de estas imágenes para utilizarlas como base de las tareas de mapeo. Para esto se dividió el área de estudio en 24 sectores con el tamaño de una hoja A4, en cada una de ellas se imprimió un sector de la imagen junto con una grilla de coordenadas Gauss-Krüger Faja 2 (datum Campo Inchauspe).

2.2.2. Trabajos de campo

Los trabajos de campo comprendieron el relevamiento geológico del área a escala 1:5.000. Los datos tomados (litologías, contactos, fracturas, fallas, estructuras mineralizadas, puntos de muestreo, etc.) fueron graficados en los ploteos mediante el empleo de un GPS Garmin e-Trex y luego volcados a la base de datos GIS.

En el transcurso del levantamiento se identificaron las diferentes litologías presentes, intentándose además establecer mediante observaciones de campo una secuencia estratigráfica de los procesos volcánicos sucedidos. Asimismo, se llevaron a cabo muestreos litológicos para caracterizar con precisión, mediante petrografía y geoquímica, las unidades aflorantes.

2.3. Marco geológico regional: el Macizo del Deseado

La provincia geológica denominada Macizo (Leanza, 1958), Nesocratón (Harrington, 1962), Cuenca (Homoc y Constantini 2001; Cortiñas *et al.*, 2005) o Comarca (Giacosa *et al.*, 2008) del Deseado es una unidad morfoestructural que abarca un área de alrededor de 60.000 km² en la porción NE de la provincia de Santa Cruz (Figura 2.1). Esta región está limitada al norte por el Río Deseado y al sur por el Río Chico, hacia el oeste está limitada por la Dorsal de Río Mayo, en tanto que el océano Atlántico la limita por el este (De Giusto *et al.*, 1980). Una de las principales características de esta región es un extenso plateau compuesto por rocas volcánicas del Jurásico medio a superior que cubren más de la mitad de su superficie (alrededor de 35.000 km²).

Las rocas basamentales del Macizo del Deseado se presentan como afloramientos pequeños y dispersos, separados varios kilómetros unos de otros. La porción oriental está caracterizada por el Complejo Río Deseado, compuesto por rocas metamórficas de alto grado de edad Neoproterozoica a Cámbrica que son intruídas por granitoides Cámbricos a Ordovícicos (Pankhurst *et al.*, 2003; Guido *et al.*, 2004b). El sector occidental se caracteriza por rocas sedimentarias y volcánicas afectadas por un metamorfismo de bajo grado (Moreira *et al.*, 2005); estas rocas son agrupadas bajo la denominación de Formación La Modesta, y son de edad Silúrica a Devónica.

Cubriendo a las rocas del basamento se reconocen sedimentos epiclásticos continentales pertenecientes al Grupo Tres Cerros y al Grupo El Tranquilo, depositados en cuencas extensionales de orientación NO-SE (Andreis, 2002; Homovic y Constantini, 2001). Estos sedimentos son de edad Permo-Triásica y se encuentran representados principalmente en la porción oriental del Macizo del Deseado.

Hacia finales del Triásico ocurre un importante cambio en el régimen tectónico, dando lugar a un amplio ambiente extensional al que se le asocia un voluminoso magmatismo que se mantendrá a lo largo de casi todo el Jurásico.

Durante el Jurásico inferior, en el sector oriental del Macizo del Deseado, se desarrolla el evento intrusivo de la Formación La Leona. Se trata de un complejo granítico, ácido a intermedio y de afinidad calcoalcalina (Pankhurst *et al.*, 1993). En forma simultánea, en la porción central del Macizo, ocurre la depositación de la secuencia epi-piroclástica de la Formación Roca Blanca, caracterizada por depósitos mayormente fluviales con participación de escasos niveles piroclásticos (Panza y Haller, 2002; Jovic, 2009).

Durante el Jurásico medio a superior ocurrió un mega-evento volcánico en Patagonia y Península Antártica que dio origen a la Provincia Ígnea Gigante Chon Aike (Pankhurst *et al.*, 1998; Pankhurst *et al.*, 2000). En el Macizo del Deseado, este evento está representado por una suite volcánica bimodal denominada Complejo Bahía Laura (Feruglio, 1949; Guido, 2002 y Lopez, 2006); este complejo está integrado por las Formaciones Bajo Pobre, Cerro León, Chon Aike y La Matilde. Relaciones estratigráficas intrincadas caracterizan a este Complejo, pudiéndose reconocer múltiples interdigitaciones de diversas características (Echeveste *et al.*, 2001; Guido *et al.*, 2006; Lopez, 2006; Ruiz *et al.*, 2008a; Jovic, 2009). Sin embargo, en líneas generales se observa que la Formación Bajo Pobre está mejor representada en las partes bajas de la secuencia del Complejo Bahía Laura, la Formación Chon Aike en las partes medias, y la Formación La Matilde en las partes superiores.

La Formación Bajo Pobre está caracterizada por rocas volcánicas básicas a intermedias, principalmente andesitas con cantidades subordinadas de basaltos y dacitas, todas de características calcoalcalinas (Panza y Haller, 2002). Esta unidad está dominada por lavas y cantidades menores de ignimbritas y aglomerados volcánicos. Puede establecerse una correlación entre esta unidad y las rocas hipabisales de la Formación Cerro León, las cuales representarían facies de conducto y equivalentes intrusivos de la Formación Bajo Pobre (de Barrio *et al.*, 1999; Jovic, 2009).

La Formación Chon Aike está dominada por riolitas, algunas dacitas y escasas traquidacitas; todas ellas de naturaleza calcoalcalina, peraluminosa y de bajo potasio. Las rocas piroclásticas predominan en esta unidad, constituyendo más del 90% de los afloramientos, entre las que se intercalan domos y coladas lávicas. Esta unidad constituye un extenso plateau, dominado por vastos volúmenes de material piroclástico que fue eruptado principalmente como flujos piroclásticos de elevada fluidalidad y moderada temperatura (Pankhurst *et al.*, 1998; Panza and Haller, 2002; Guido, 2004a).

La Formación La Matilde está constituida por una secuencia homogénea de tobas de caída y depósitos volcanoclásticos re TRABAJADOS depositados en ambientes de baja energía, tanto fluviales como lacustres, entre los que se intercalan escasos niveles de ignimbritas (de Barrio *et al.*, 1999).

Existen dos opiniones diferentes acerca de los magmas que dieron origen a este complejo volcánico. Pankhurst y Rapela (1995) señalan que tanto la Fm. Bajo Pobre como la Fm. Chon Aike poseen relaciones isotópicas $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ y de $_{\text{Nd}}$ idénticas, y que esto es indicativo de un origen común a partir de una

fuelle isotópicamente homogénea, esta idea es también apoyada por [Pankhurst et al. \(1998\)](#), no solo para el Macizo del Deseado, sino también para toda la Provincia Ígnea Gigante. Sin embargo, [Busà et al. \(2001; 2003\)](#) y [Fanatuzzi \(2003\)](#) proponen un origen diferente para los magmas ácidos e intermedios; basados en modelizaciones petrogenéticas y estudios de inclusiones fundidas. Estos autores proponen que los magmas ácidos de la Fm. Chon Aike no podrían originarse por procesos de cristalización fraccionada a partir de los magmas de la Fm. Bajo Pobre, y que por lo tanto tendrían un origen distinto.

El vulcanismo del Complejo Bahía Laura representa un evento volcánico complejo y con una larga vida (al menos 20 Ma), el mismo se desarrolló en un ambiente extensional dominado por hemigrábenes de orientación ONO, relacionado a la ruptura de Gondwana y a la concomitante apertura del Océano Atlántico Sur ([Pankhurst y Rapela, 1995](#); [Pankhurst et al., 2000](#); [Busà et al., 2004](#); [Giacosa et al., 2008](#)).

Hacia finales del Jurásico, reactivaciones del ambiente extensional produjeron la apertura de pequeñas cuencas que fueron rellenas con sedimentos epi-piroclásticos. Estas rocas corresponden a la cobertura del Complejo Bahía Laura, y están representadas por dos unidades formacionales: La Formación Bajo Grande, de edad Jurásico superior, desarrollada principalmente hacia el sur y oeste del Macizo; y la Formación Baqueró, de edad Cretácica inferior, desarrollada principalmente en el sector central, y separada de la anterior por una importante discordancia angular ([Di Persia, 1958](#); [Archangelsky, 1967](#)).

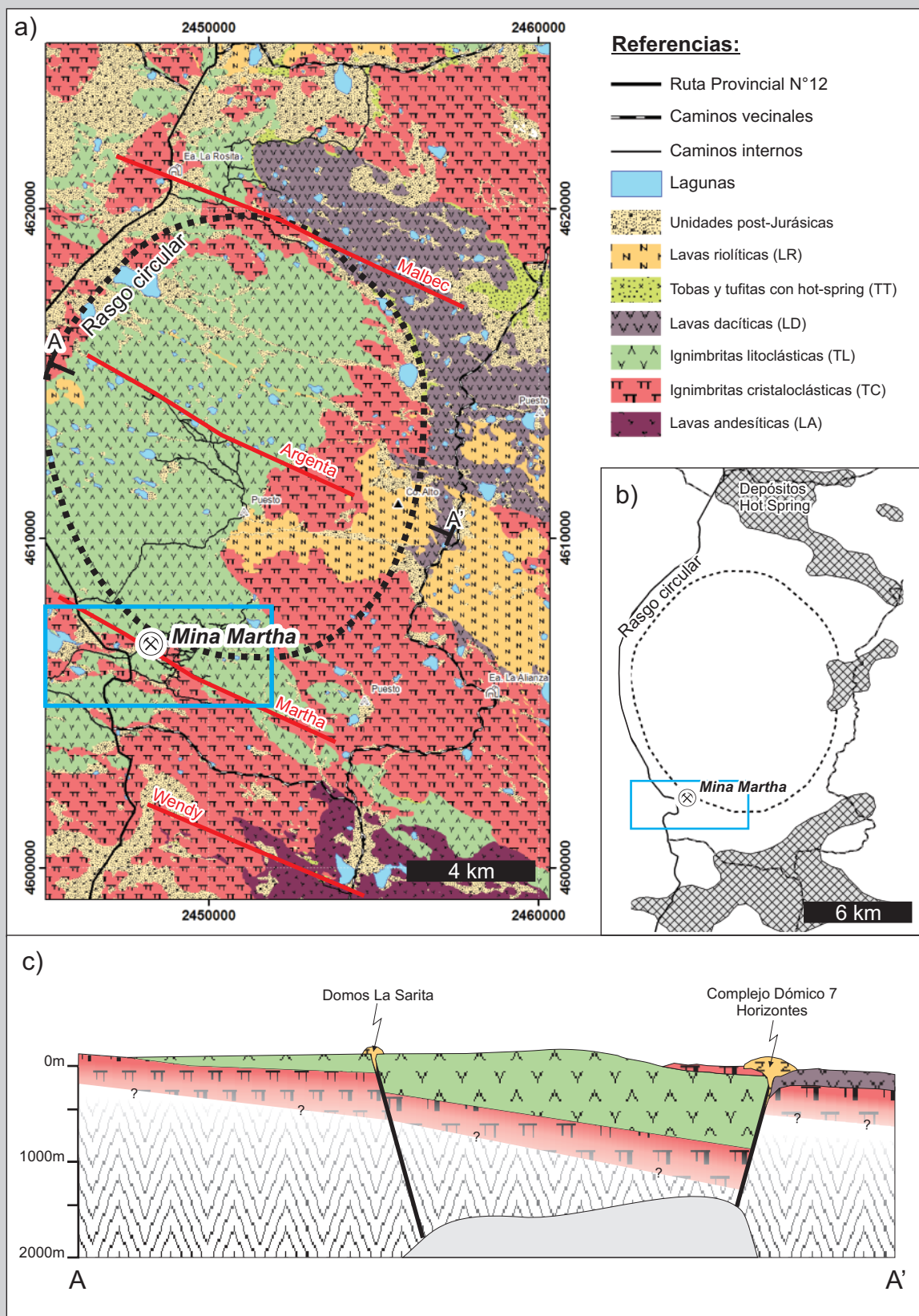
El Terciario está representado principalmente por rocas sedimentarias marinas (Formación Monte León y Formación San Julián) y continentales (Formación Santa Cruz), y por un importante evento extrusivo de composición basáltica que se extendió hasta el Cuaternario y que recibe numerosos nombres formacionales. Los basaltos junto con los depósitos gravosos de los Rodados Patagónicos terminaron por moldear el paisaje mesetiforme típico de la región.

2.4. Geología distrital: el Distrito Minero Cerro Primero de Abril

El Jurásico del sector sudoccidental del Macizo del Deseado está caracterizado por la presencia de rocas volcanoclásticas y lávicas ácidas de la Formación Chon Aike; junto con lavas, y en menor medida, rocas volcanoclásticas intermedias de la Formación Bajo Pobre ([Panza et al., 1998](#); [Echeveste, 2005](#)).

[Ruiz et al. \(2008a\)](#) definen el Distrito Cerro Primero de Abril para el sudoeste del Macizo del Deseado y sintetizan las facies volcánicas presentes en el área (Figura 2.3a), agrupándolas en conjuntos de litofacies de acuerdo a sus características petrológicas. La secuencia estratigráfica definida para este Distrito está formada por los siguientes conjuntos de litologías: Lavas Andesíticas, ignimbritas cristaloclásticas, ignimbritas litoclásticas, lavas dacíticas, depósitos de tobas y tufitas con evidencias de ambiente “hot spring”, y finalmente un conjunto de diques, coladas y domos riolíticos agrupados dentro de las lavas riolíticas. Estos depósitos evidencian una importante actividad volcánica explosiva para el Jurásico en ese sector y se asocian a un rasgo morfoestructural subcircular de 12 Km de diámetro (Figura 2.3a y b), que conforma un complejo volcánico al que se vincula espacial, temporal y genéticamente una importante actividad hidrotermal.

Las lavas andesíticas pertenecen a la Fm. Bajo Pobre y conforman lomadas bajas en el sector sur. Son fenoandesitas de color negro a verde, alteradas, que presentan textura porfírica a glomeroporfírica con abundantes fenocristales de plagioclasas y en menor medida clinopiroxeno.

Figura 2.3. Distrito Minero Cerro Primero de Abril

Geología del Distrito Minero Cerro 1^{er} de Abril (modificado de Ruiz *et al.*, 2008). a) Mapa geológico simplificado mostrando la relación entre las litologías, los 4 trenes mineralizados (en rojo), el rasgo morfoestructural subcircular (línea punteada), y el área cubierta en la presente tesis (rectángulo azul); b) Mapa mostrando la distribución de los afloramientos de “hot springs” y su relación con el rasgo circular observado en la región; c) Perfil geológico mostrando la estructura de colapso tipo caldera interpretada por Ruiz *et al.*, (2008).

Las ignimbritas cristaloclásticas conforman un relieve suave y redondeado de colores claros en el sector sur y norte del área. Se componen de abundantes cristaloclastos de cuarzo engolfado, feldespato potásico y plagioclasas alteradas a calcita y epidoto, abundante biotita orientada, acompañados por fiammes pequeños y escasos líticos volcánicos.

Las ignimbritas litoclásticas se intercalan con las anteriores, formando un paisaje con morfologías abruptas de tonalidades verdosas y castañas en el sector central del área, mayoritariamente en el interior del rasgo subcircular. Son rocas muy ricas en componentes líticos de origen metamórfico, volcánico y subvolcánico, que en algunos casos superan el metro de diámetro.

En la parte nororiental del área se desarrollan las lavas dacíticas, están caracterizadas por un complejo de domos y coladas dómicas que se asocian al rasgo subcircular regional, cubriendo a las ignimbritas litoclásticas y con una amplia distribución hacia el NE del mismo. Son rocas de textura porfírica fluidal, rica en fenocristales de plagioclasas y máficos alterados y con pasta pilotáctica.

Los depósitos de caída y retrabajados poseen afloramientos discontinuos, de grano medio a fino, y pertenecen a un ambiente lacustre-fluvial que se desarrolló con posterioridad a las ignimbritas litoclásticas y a las lavas dacíticas, y que no tienen relación con los niveles de tufitas observados también en Mina Martha. Se encuentran asociados con depósitos carbonáticos y estromatolíticos de ambiente “hot spring” (Figura 2.3b), cubriendo una superficie superior a los 130 km², siendo el depósito de mayor extensión presente en esta provincia geológica (Ruiz *et al.*, 2008b).

Cubriendo a todas las unidades anteriores se observa nuevamente a las ignimbritas de cristaloclásticas, estas rocas se agrupan aquí junto con las anteriormente descritas por poseer características muy similares, siendo su única diferencia su posición estratigráfica.

Finalmente, y culminando la secuencia estratigráfica del área, se observó un conjunto de domos y coladas riolíticas con autobrechas y diques asociados en el sector centro oriental. Las rocas que lo conforman son fenoriolitas porfíricas foliadas, con niveles basales vítreos y sectores con disyunción columnar.

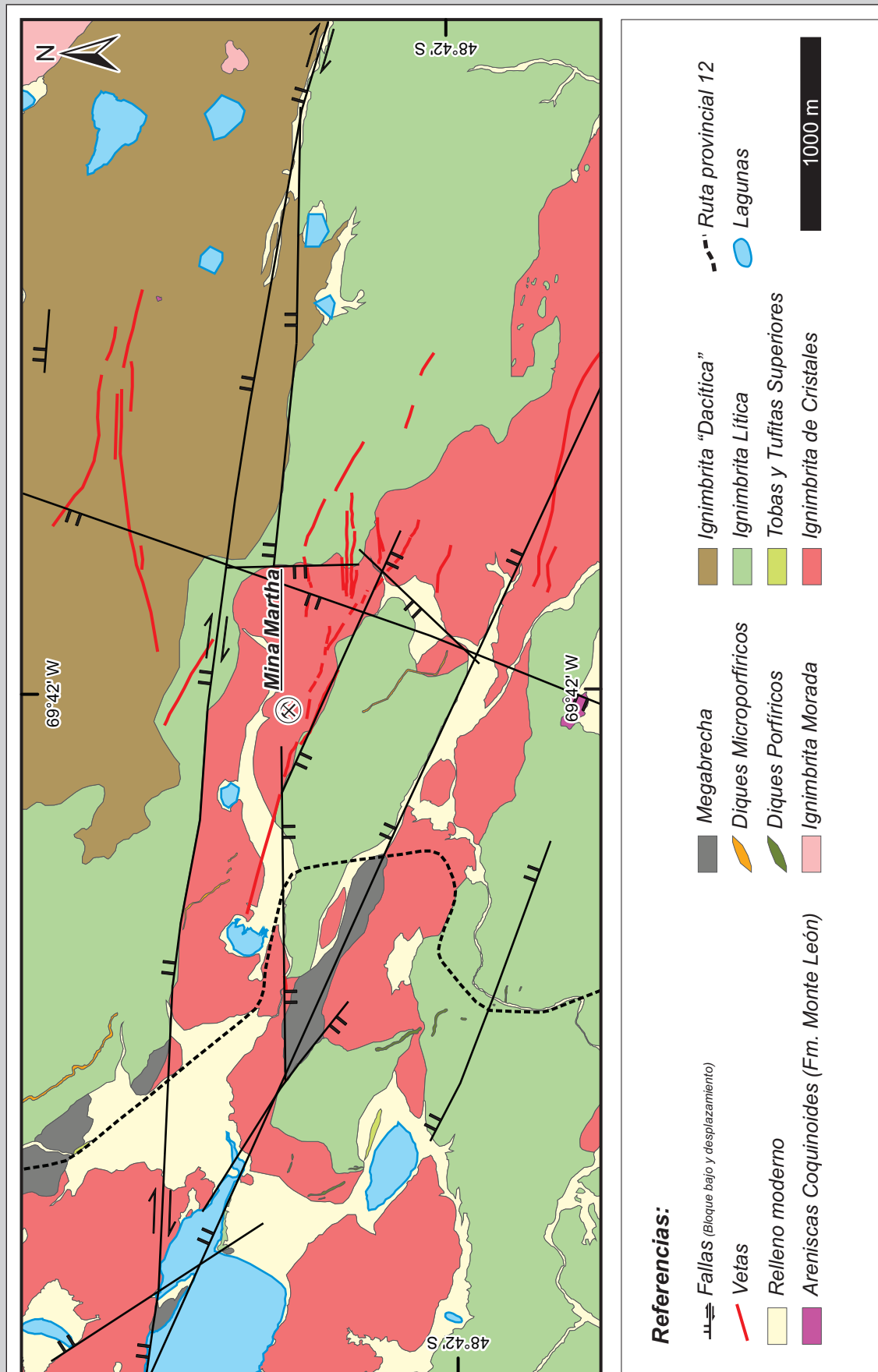
Asociado a esta secuencia volcánica Ruiz *et al.* (2008a) reconocen cuatro trends mineralizados (entre los que se encuentra Mina Martha), los cuales están dispuestos con rumbo NO-SE y poseen un fuerte control estructural (Figura 2.3a). Los mismos están formados por un conjunto de vetas, vetillas, stockworks y brechas hidrotermales compuestos mayormente por cuarzo, con texturas de relleno de espacios, bandeamientos crustiformes, coloformes, cocardas, texturas en peine y pseudomorfos de calcita laminar.

La asociación de las diferentes facies descritas les permitió a Ruiz *et al.* (2008a) plantear la existencia de una estructura volcánica de colapso tipo caldera de unos 12 km de diámetro en el centro del Distrito Cerro Primero de Abril (Figura 2.3c). Esta caldera habría dado origen tanto a las Ignimbritas Líticas como así también al complejo de domos y coladas dómicas dacíticas (LD). Este importante centro de emisión desarrolló en forma tardía un sistema hidrotermal de grandes dimensiones que se evidencia a través de los cuatro trends mineralizados y el extenso campo geotermal fósil.

2.5. Geología local: Mina Martha

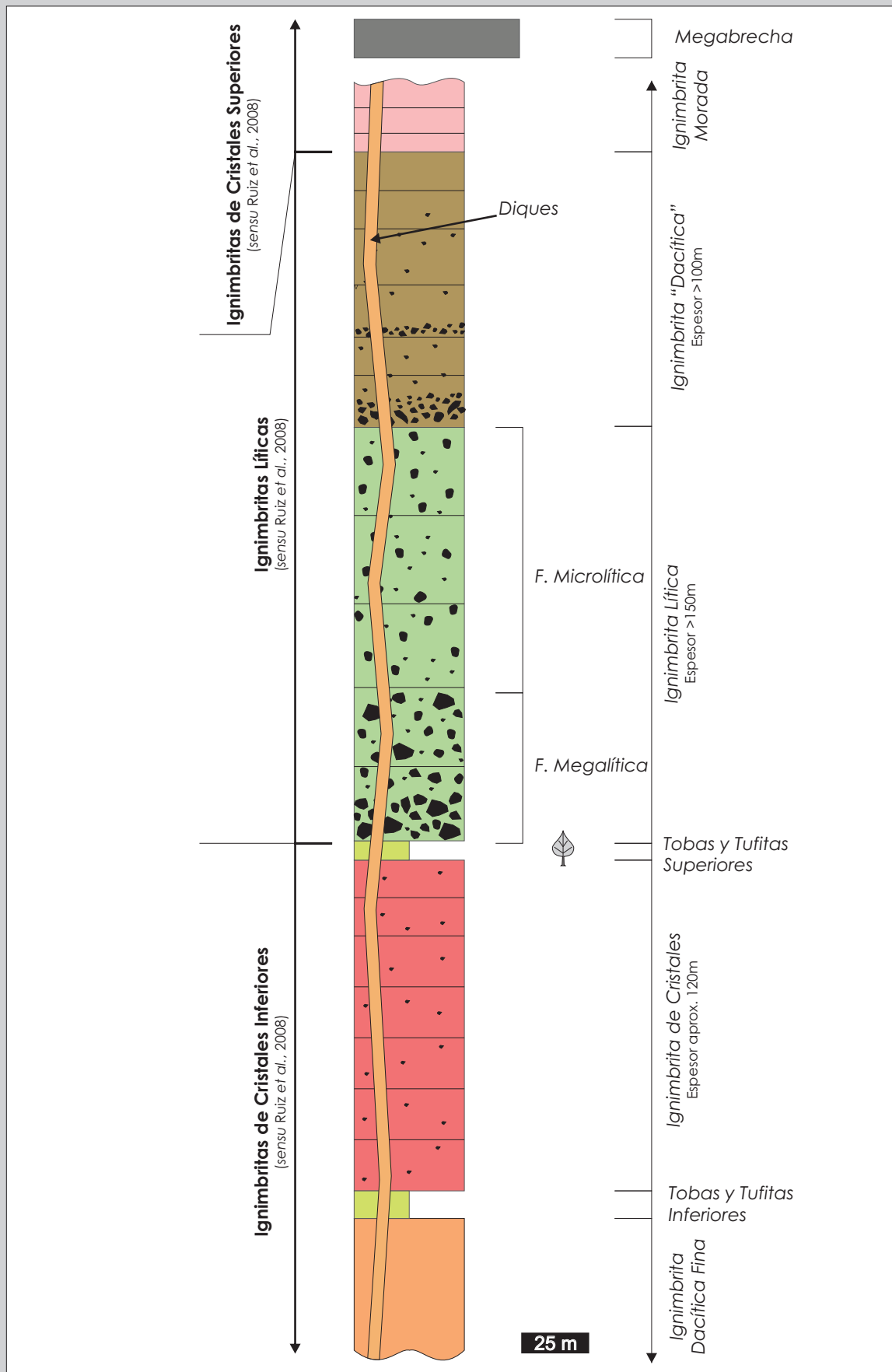
Los trabajos de campo en el área de Mina Martha han permitido reconocer dos unidades geológicas:

Figura 2.4. Mapa Geológico de Mina Martha

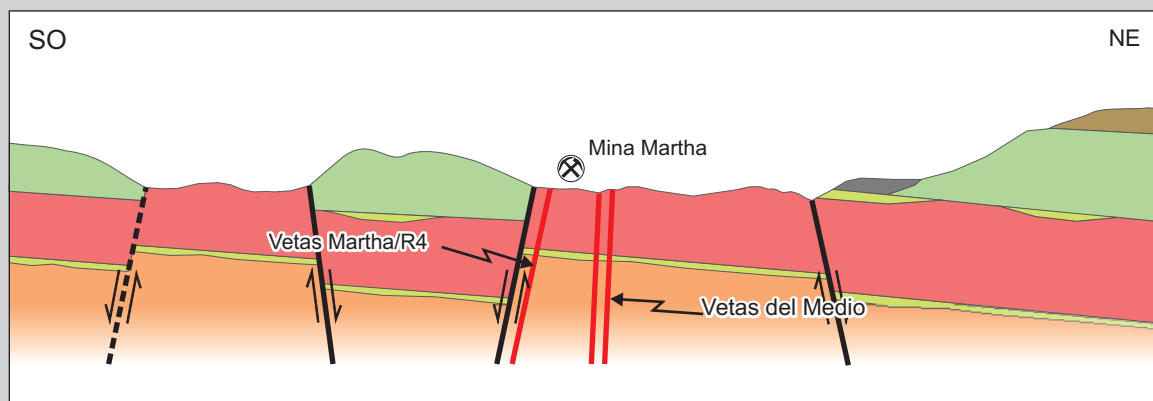


Mapa geológico de Mina Martha a escala reducida. Ver mapa a escala completa en el Anexo I.

Figura 2.5. Columna estratigráfica de Mina Martha



Columna estratigráfica para las unidades Jurásicas de Mina Martha. Los espesores corresponden a potencias mínimas para cada unidad.

Figura 2.6. Perfil geológico de Mina Martha

Perfil geológico esquemático integrando las relaciones entre las distintas unidades reconocidas en los alrededores de Mina Martha. Sin Escala.

el Complejo Bahía Laura y la Formación Monte León (Figura 2.4 y Anexo I). Todas las unidades descritas en este trabajo exceden ampliamente el área de estudio, y su distribución regional e implicancias para el estilo y extensión del vulcanismo del Deseado fueron discutidos por Ruiz *et al.* (2008a) y resumidos en la sección anterior.

La unidad de mayor extensión e importancia (por alojar la mineralización) es el Complejo Bahía Laura del Jurásico medio a superior. En este sector, el mencionado Complejo se manifiesta por un conjunto de facies piroclásticas y lávicas que inclinan suavemente al NE y que conforman una columna que supera los 500 metros de espesor sin estar su base expuesta. Las unidades se han discriminado sobre la base de su textura, composición, patrón de afloramiento y aspecto general siguiendo los criterios de McPhie *et al.* (1993), Németh y Martin (2007), Gillespie y Styles (1999) y McArthur *et al.* (1998), y para ello se utilizaron datos de superficie, perforaciones e interior mina.

Los trabajos realizados permitieron obtener un ordenamiento estratigráfico que hace posible diferenciar, de base a techo, las siguientes unidades para el Jurásico (Figuras 2.4, 2.5 y 2.6): Ignimbrita Dacítica Fina, Tobas y Tufitas Inferiores, Ignimbrita de Cristales, Tobas y Tufitas Superiores, Ignimbrita Lítica, Ignimbrita "Dacítica", Ignimbrita Morada, Diques, y Megabrecha.

2.5.1. Ignimbrita Dacítica Fina

La secuencia estratigráfica de Mina Martha se inicia con esta unidad (Figura 2.5), que no posee afloramientos dentro del área relevada, pero fue definida por medio de sondeos profundos.

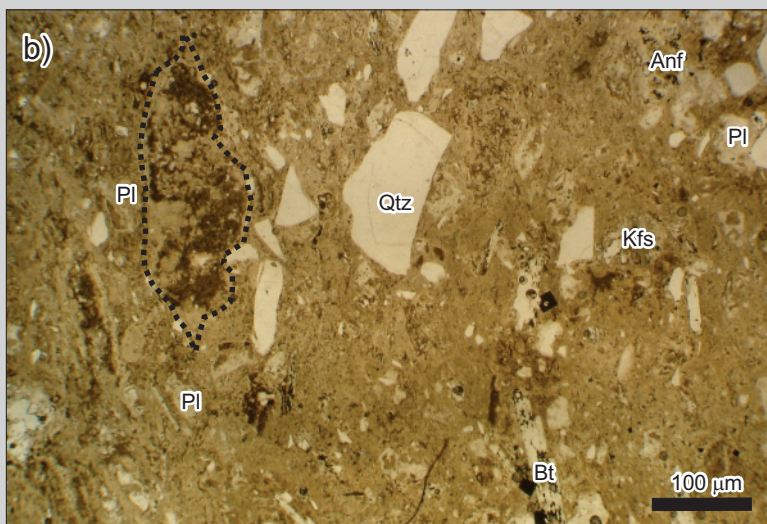
Se trata de una ignimbrita con cristaloclastos abundantes, pero de reducidas dimensiones en comparación con las unidades suprayacentes, donde los feldespatos (especialmente las plagioclasas) son los minerales más abundantes, seguidos por cuarzo, biotita y finalmente anfíboles (Figura 2.7). Las proporciones de cristaloclastos permiten clasificar esta unidad como una toba de cristales de composición feno-dacítica a feno-riodacítica.

Los vitroclastos son muy abundantes, aparecen formando una matriz vítrea muy rica en trizas, que se presentan fuertemente aplastadas y deformadas alrededor de los cristaloclastos conformando una textura eutaxítica. En general, la matriz muestra desvitrificación con desarrollo de texturas

Figura 2.7. Ignimbrita Dacítica Inferior (TDF)



Ignimbrita rica en matriz, con cristoclastos y fiammes de un tamaño inferior al de las demás unidades de flujo reconocidas en las inmediaciones de Mina Martha. En esta fotografía se puede apreciar un detalle de la misma correspondiente al sondaje M-366.



Microfotografía mostrando el aspecto general de la roca. Los fiammes (línea punteada) y la matriz presentan una argilización que enmascara las texturas primarias de la roca. Las plagioclasas (Pl), las biotitas (Bt) y los anfíboles (Anf) se encuentran totalmente alterados, en tanto que el feldespato alcalino (Kfs) presenta una alteración fuerte, pero todavía pueden reconocerse sectores del mineral libres de alteración.

micropoiquilítica y en menor medida esferulítica. Se reconocen fiammes de pequeñas dimensiones, con un mediano a elevado grado de aplastamiento. Los fiammes se encuentran desvitrificados mostrando texturas micropoiquilíticas de grano grueso y, en menor medida esferulítica. En general los vitroclastos muestran una argilización acompañada con sericita, con una intensidad de media a muy fuerte, que por sectores oscurece y dificulta el reconocimiento de las texturas originales de los vitroclastos.

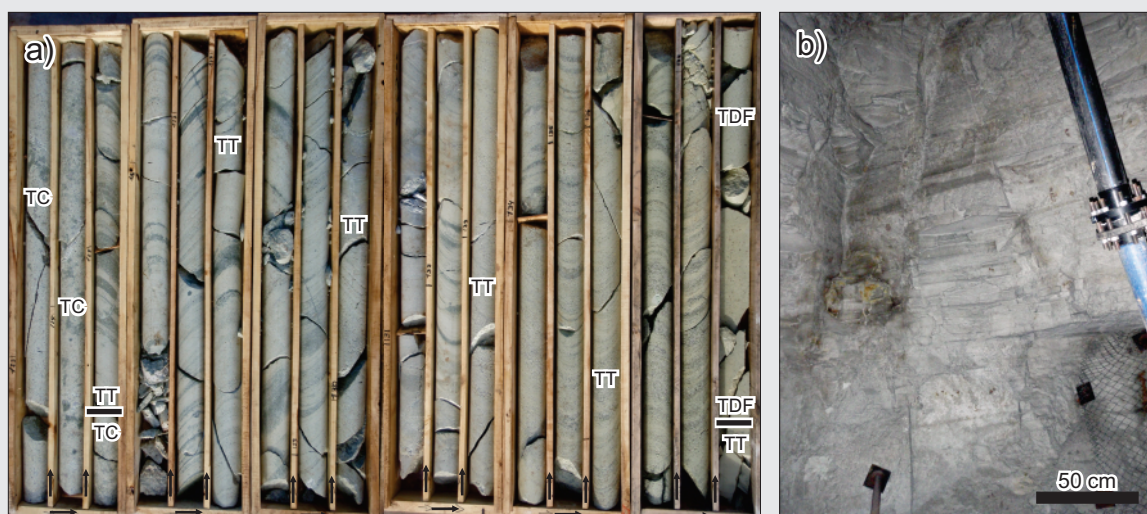
En esta unidad los fragmentos líticos son escasos y de naturaleza volcánica.

2.5.2. Tobas y Tufitas Inferiores

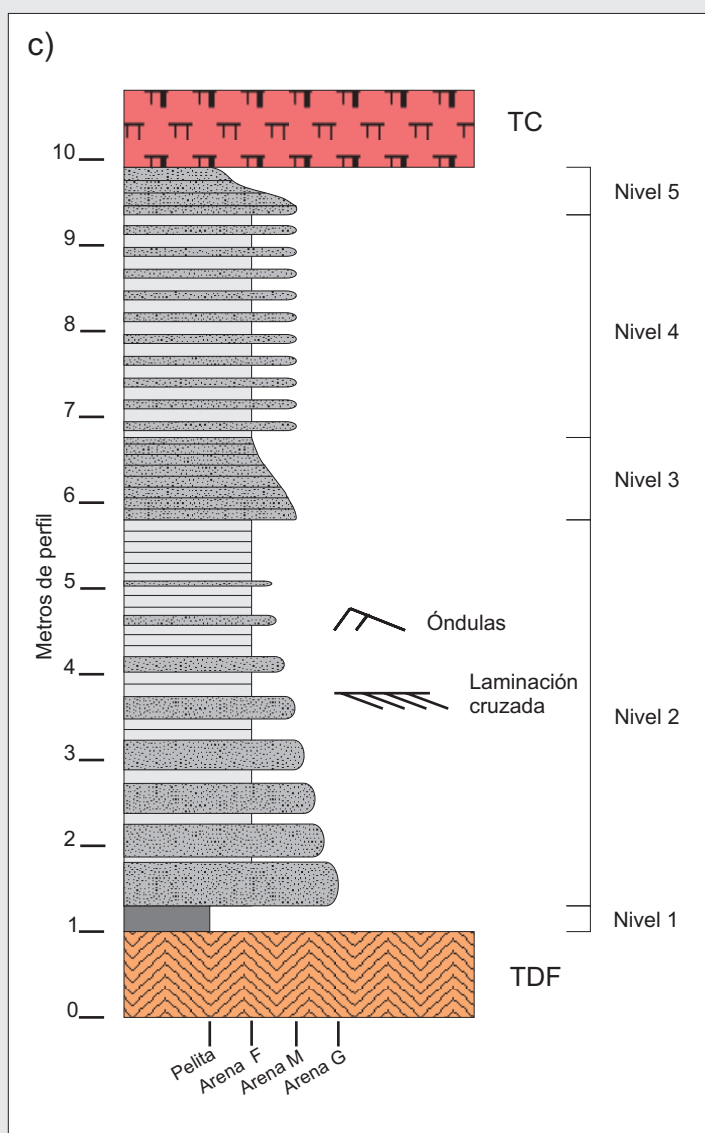
Esta unidad tampoco presenta afloramientos dentro del área de estudio, observándose exclusivamente en sondajes y labores mineras (Figura 2.8). Se trata de un nivel continuo que se desarrolla entre la Ignimbrita Dacítica Fina y la Ignimbrita de Cristales (Figura 2.5).

El espesor de esta unidad es variable, desde unos pocos decímetros hasta varios metros. Para el estudio de esta unidad se tomó como “sección tipo” al intercepto del pozo M-515. Este sondaje muestra un espesor aparente de casi 14 m, que representa un espesor real de alrededor de 10 m, dato similar al

Figura 2.8. Tobas y Tufitas Inferiores (TT Inf)



(a) Vista de los depósitos retrabajados que se encuentran intercalados entre la Ignimbrita de Cristales y la Ignimbrita Dacítica Fina. En este caso se trata de casi 14 metros de intercepto en el sondaje M-515, aunque el espesor de esta unidad es bastante variable. (b) Vista de los afloramientos en el acceso a las labores subterráneas de Catalina 225. Puede observarse la marcada estratificación que caracteriza a esta unidad.



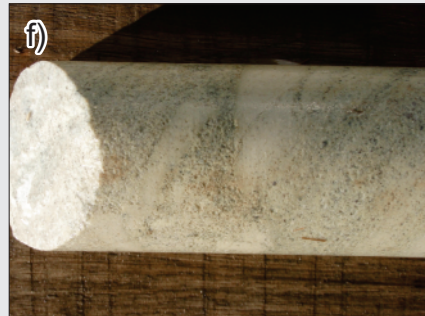
Columna estratigráfica de los depósitos reconocidos en el sondaje M-515.



Detalle de laminación paralela en depósitos finos, posiblemente de ambiente lacustre. Nivel 4.



Facies arenosas con estructuras tipo óndula y estratificación cruzada. Nivel 2.



Facies arenosas con base erosiva y posible intraclasto pelítico. Nivel 2.

observado en cercanías a labores subterráneas de acceso.

Se trata de tobas y tufitas finas a gruesas intercaladas, con coloraciones gris verdosas que inclinan unos 10° hacia el ONO (con un rumbo del buzamiento hacia N290°). Dentro del depósito se pudieron reconocer 5 paquetes con pasajes transicionales entre sí, que representarían depósitos retrabajados en un ambiente fluviolacustre (Figura 2.8).

El paquete con el que se inicia la secuencia se caracteriza por 30 cm de una toba de grano muy fino con laminación paralela. Luego se pasa a 4,5 m caracterizados por una intercalación de niveles de tufitas gruesas a medias que alternan con niveles de tufitas finas. Dentro de este esquema, las tufitas gruesas muestran un arreglo estrato-decreciente con estructuras de laminación cruzada y posibles óndulas, en tanto que las tufitas finas presentan un arreglo estrato-creciente con una fina laminación paralela. La secuencia continúa con 2,7 m de una fina alternancia de niveles arenosos gruesos y finos con laminación paralela, para culminar con 70 cm de tufitas laminadas con un arreglo grano-decreciente que se inicia en la base con tufitas gruesas y culmina en el techo con tufitas finas.

2.5.3. Ignimbrita de Cristales

La Ignimbrita de Cristales forma lomadas suaves y redondeadas en las partes topográficamente más bajas (Figura 2.9a), aflorando como una franja longitudinal que surcan el área aproximadamente de noroeste a sudoeste (Figura 2.4).

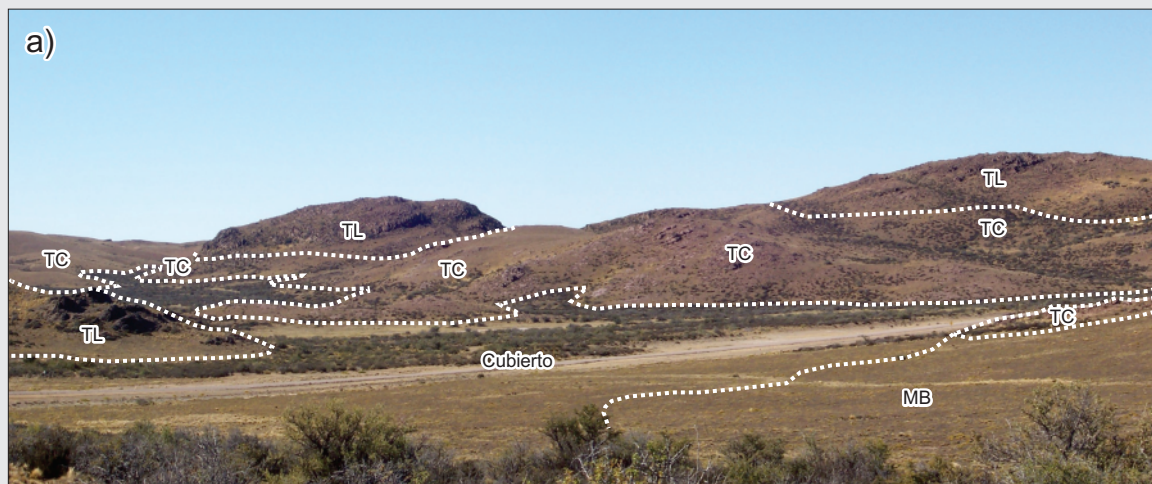
Si bien esta unidad no posee la base expuesta dentro del área relevada, en los sondeos, se la observa apoyando sobre las Tobas y Tufitas Inferiores o bien directamente sobre la Ignimbrita Dacítica Fina (Figura 2.6). Estratigráficamente por encima de esta unidad se desarrollan las Tobas y Tufitas Superiores, aunque, dada la discontinua distribución de esta unidad, la mayoría de las veces esta unidad es cubierta por la Ignimbrita Lítica (Figura 2.9a).

La Ignimbrita de Cristales muestra un variable aunque elevado grado de soldamiento, y una estratificación difusa que indica el apilamiento de varios flujos ignimbríticos con un espesor individual en general inferior a los 7 metros (Figura 2.9b). Estos flujos poseen una inclinación de 10° a 20° hacia el norte (con rumbos del buzamiento desde N355° a N10°), y se habrían consolidado juntos como una única unidad de enfriamiento, totalizando un espesor de alrededor de 120 m, estimado a partir de perforaciones y observaciones de campo.

Se trata de una ignimbrita con matriz de color morado a rojizo (Figura 2.9c y d), muy rica en biotita. El cuarzo es el mineral más abundante entre los cristaloclastos, seguido por el feldespatos alcalino y las plagioclasas, luego por la biotita, y finalmente el anfíbol. Las proporciones de cristaloclastos permiten clasificar esta unidad como una toba de cristales de composición feno-riodacítica a feno-riolítica.

Los vitroclastos son muy abundantes (Figura 2.9d y 2.9e), aparecen formando una matriz vítrea muy rica en trizas fuertemente aplastadas y deformadas que determinan una textura eutaxítica muy marcada, que envuelve a los cristaloclastos, aunque por sectores puede tomar un aspecto masivo por el alto grado de soldamiento. En general, la matriz muestra un grado variable de desvitrificación con desarrollo de texturas esferulíticas, axiolíticas y micropoiquilíticas que varían de tamaño de grano a lo largo del corte. Se reconocen fiammes fuertemente achatados donde pueden reconocerse texturas relícticas de vesículas colapsadas, en algunos casos las vesículas han desaparecido por completo debido a un muy

Figura 2.9. Ignimbrita de Cristales (TC)



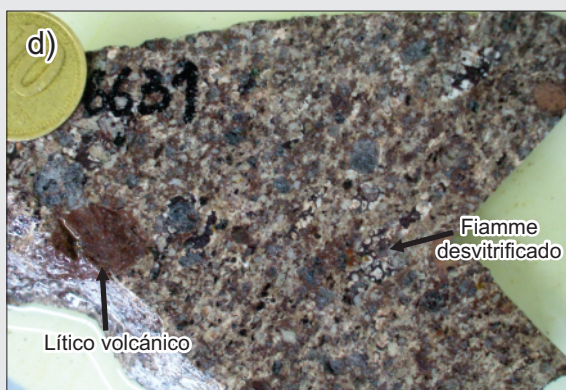
Relaciones de campo entre la Ignimbrita de Cristales y la Ignimbrita Lítica al sur del portal de la mina, sobre la Ruta Provincial N° 12. Fotografía mirando al sudeste.



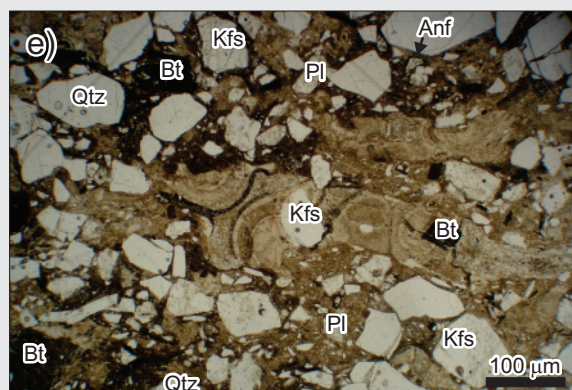
Vista de los afloramientos de la Ignimbrita de Cristales mostrando el apilamiento de dos de las unidades de flujo que componen la unidad. Los sectores que sobresalen corresponden a los niveles basales mas soldados de cada unidad de flujo.



Vista axial de la roca a nivel afloramiento mostrando los fiammes argilizados y el color morado que caracterizan a la mayoría de los afloramientos de esta unidad.



Detalle de la roca mostrando la alta proporción de cristaloclastos en la pasta y los fiammes con abundantes cristales y esferulitas (rosadas). También pueden reconocerse algunos fragmentos líticos de naturaleza volcánica.



En esta microfotografía puede apreciarse la elevada proporción de cristaloclastos que caracteriza a esta unidad. En la parte central puede observarse un fiamme fuertemente aplastado y desvitrificado en agregados esferulíticos. Foto con nicols paralelos.

alto grado de soldamiento y los fiammes se presentan con aspecto masivo. Estos se encuentran desvitrificados mostrando texturas micropoiquilíticas, esferulíticas y axiolíticas (Figura 2.9e). Dentro de los fiammes pueden reconocerse fenocristales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa y biotita. En general los vitroclastos muestran una argilización variable, que tiende a ser más elevada en el caso de los fiammes.

Los litoclastos son en general escasos y de reducidas dimensiones, se reconocieron fragmentos de lavas dacíticas y riolíticas, de ignimbritas dacíticas y riolíticas, y de pórfidos riolíticos.

2.5.4. Tobas y Tufitas Superiores

Se trata de una unidad de reducida expresión en superficie, reconociéndose únicamente dos afloramientos dentro del área de estudio. Sin embargo, esta unidad se encuentra bien representada en los sondajes. Se trata de un nivel discontinuo que se desarrolla entre la Ignimbrita de Cristales y la Ignimbrita Lítica (Figuras 2.5 y 2.6), y totaliza espesores que pueden alcanzar varios metros.

El principal afloramiento, tomado como base para la caracterización de este depósito, se ubica a 1 km al norte del portal de acceso a la mina, sobre la Ruta Provincial N° 12 (Figura 2.10a). Estos afloramientos poseen una inclinación del orden de los 15° hacia el norte (con rumbo de buzamiento hacia N355°), y se caracterizan por materiales piroclásticos retrabajados con un espesor del orden de 8 m, en cuyo interior pueden discriminarse 4 paquetes sedimentarios (Figura 2.10b, c, d y e).

En la parte inferior del perfil se observa un paquete de 3,8 m de tufitas gruesas color gris verdoso (Figura 2.10e), con geometría estrato-decreciente e intercalaciones de tufitas finas laminadas (Figura 2.10d). Dentro de este esquema, los niveles individuales de tufitas gruesas son, en general, masivos y grano-decrecientes.

Sigue a este paquete, 1,2 m de tufitas gruesas grisáceas, y grano-decrecientes con geometría lenticular y base erosiva, que en la parte superior muestran algunas intercalaciones más gruesas. La secuencia continúa con 50 cm de depósitos pelíticos de coloración gris oscura a negra, que incluyen lentes de tufitas de grano grueso también de coloración oscura.

Coronan la secuencia 1,2 m de tufitas gruesas a medias de color gris claro levemente oxidadas, compuestas por capas lenticulares con estratificación entrecruzada en artesa y abundantes restos vegetales fósiles (Figura 2.10c).

2.5.5. Ignimbrita Lítica

Los afloramientos de esta unidad constituyen elevaciones importantes de aspecto redondeado en forma de “bochones” (Figura 2.11a) que se desarrollan mayormente a ambos lados de la franja oblícuca definida por la Ignimbrita de Cristales, tanto hacia el sudoeste como hacia el noreste de ésta (Figura 2.4).

Esta ignimbrita se apoya sobre las Tobas y Tufitas Superiores o bien directamente sobre la Ignimbrita de Cristales, y hacia el techo se observa un pasaje transicional hacia la Ignimbrita “Dacítica” (Figura 2.5).

La unidad presenta un aspecto masivo (Figura 2.11a), con inclinaciones que varían de 10° a 20° hacia noreste (con rumbo de buzamiento hacia aproximadamente N50°). Unos kilómetros hacia el norte del área de estudio muestra una estratificación muy grosera en bancos de más de 20 m de potencia.

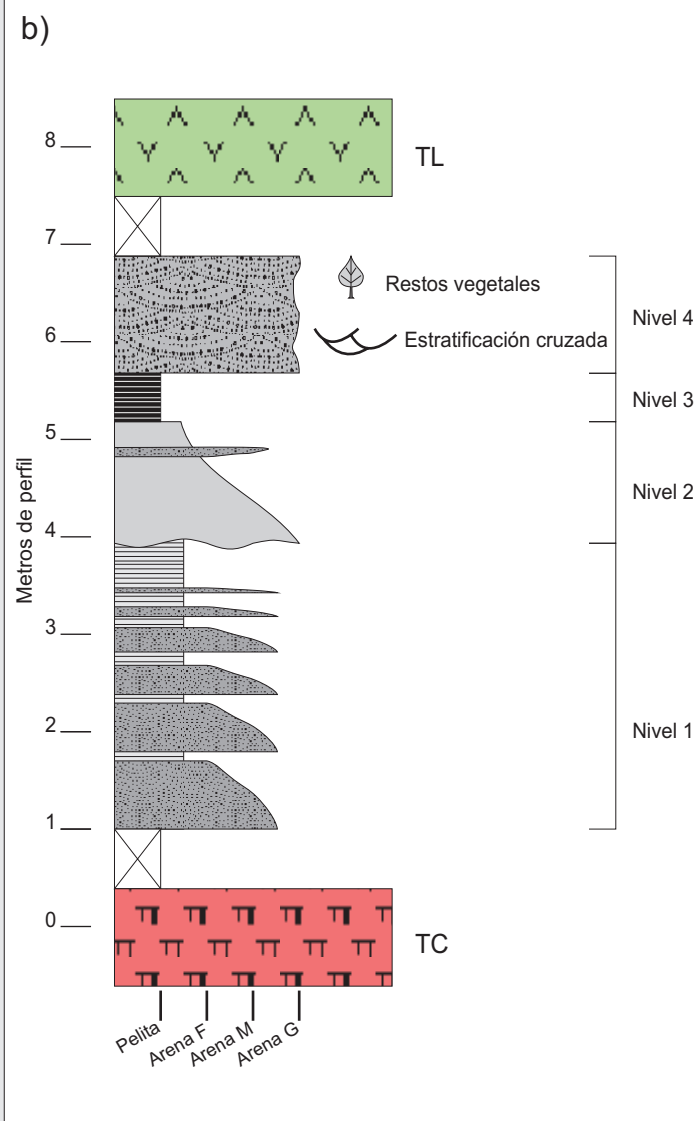
Se trata de una ignimbrita de color verde oscuro a negro (Figura 2.11), rica en cristaloclastos de cuarzo, feldespatos alcalinos y plagioclasas, y en menores cantidades se reconocen anfíboles, piroxenos, y biotita. Esta unidad se clasificó como una toba lítica de composición feno-riolítica a feno-riodacítica.

Son muy comunes las texturas de desequilibrio (Figura 2.12) entre las fases minerales que aparecen tanto como cristaloclastos en la matriz, o como fenocristales dentro de los fragmentos pumíceos

Figura 2.10. Tobas y Tufitas Superiores (TT Sup)



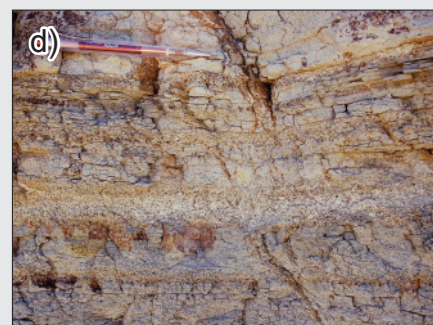
Vista de los afloramientos ubicados a la vera de la Ruta Provincial N°12, comprende un paquete de rocas volcánicas retrabajadas que alcanza un espesor aflorante de casi 7 metros. Se trata de una unidad con afloramientos discontinuos y espesores muy variables.



Columna estratigráfica de los depósitos reconocidos a la vera del la Ruta Provincial N°12, detalles en el texto.



Restos Vegetales, se trata de impresiones de tallos que pueden alcanzar hasta varios cm de diámetro. Nivel 4.



Facies arenosas y pelíticas con arreglo estratodecreciente. Techo del Nivel 1.



Facies arenosas en la parte media del Nivel 1.

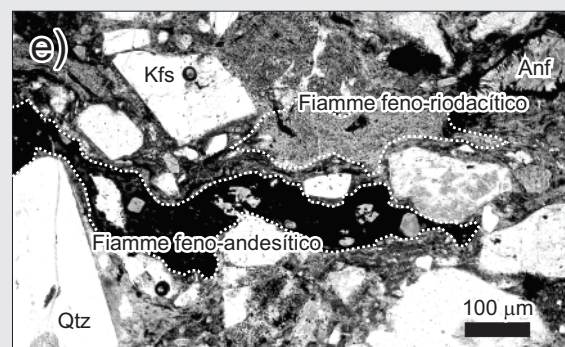
Figura 2.11. Ignimbrita Lítica (TL)



Vista general de los afloramientos ubicados al sur del portal de Mina Martha. Esta unidad presenta una geomorfología característica conformada por lomadas más abruptas y con mayores afloramientos que la Ignimbrita de Cristales.



Detalle de los afloramientos mostrando la elevada densidad de líticos que caracteriza a esta unidad, algunos de los cuales alcanzan dimensiones que superan el metro de diámetro. La mayoría de los líticos observados corresponden a gneises y esquistos, aunque también se reconocen abundantes líticos de otras ignimbritas, lavas e incluso granitoides.

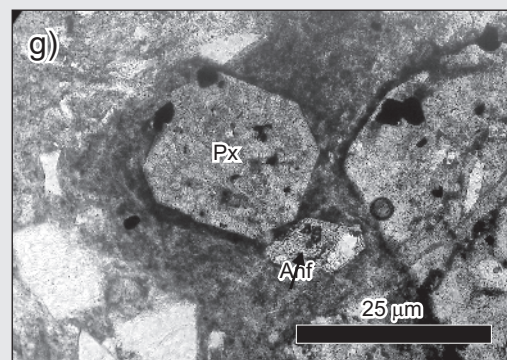
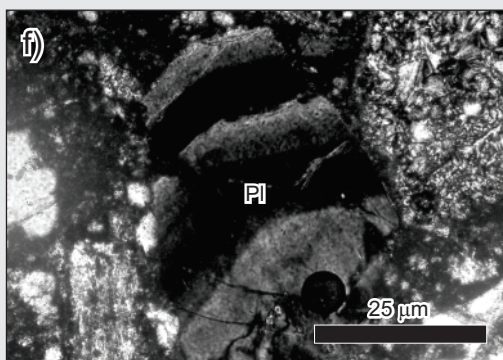
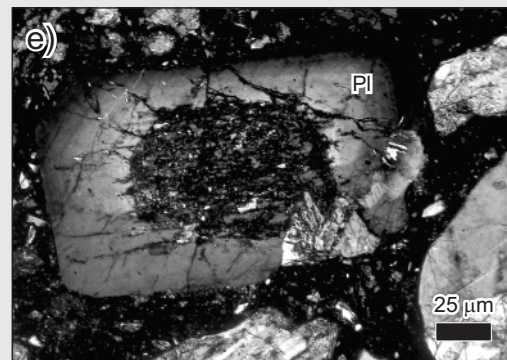
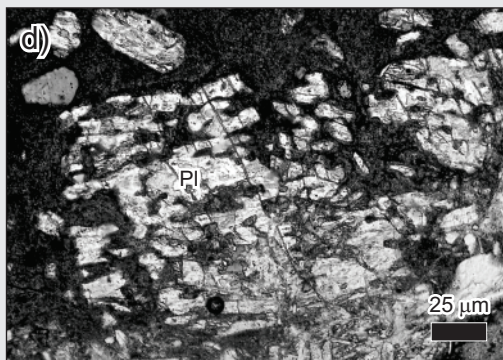
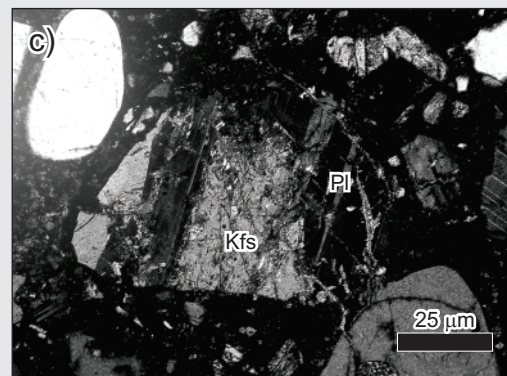
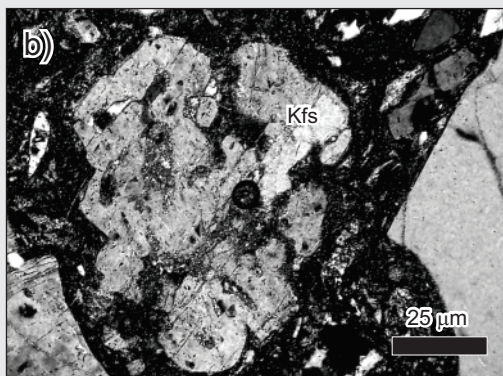
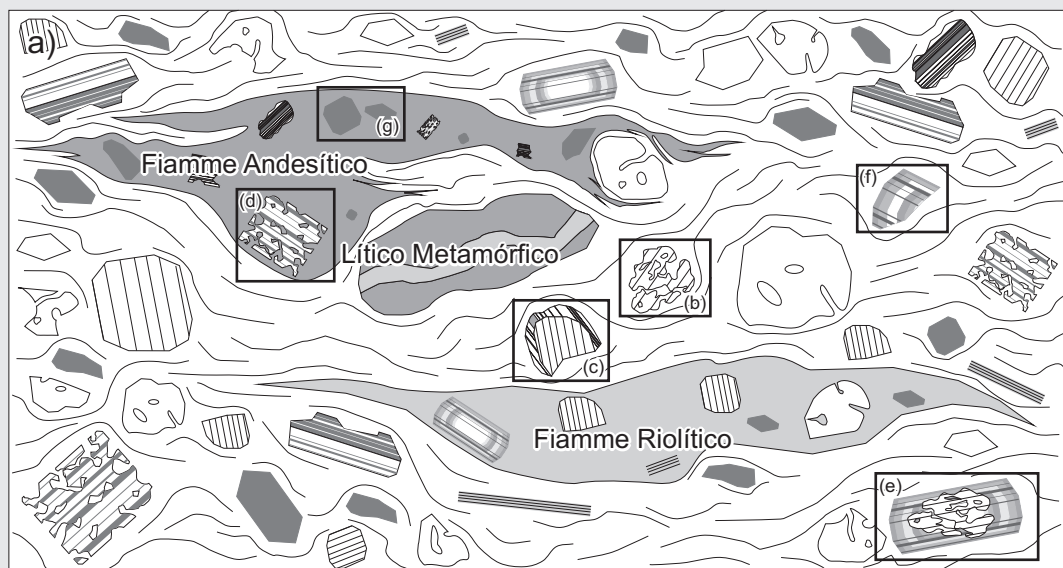


Aquí pueden verse dos fragmentos pumíceos composicionalmente diferentes conviviendo en la misma roca, es posible observar un pómez verdoso de composición feno-andesítica y por debajo del mismo uno grisáceo de composición feno-riodacítica.

(Hibbard, 1995): el feldespato alcalino muestra engolfamientos (Figura 2.12b), finas desmezclas de plagioclasa (textura pertítica) y/o coronas de plagioclasa (textura rapakivi, Figura 2.12c). Las plagioclasas se presentan cribadas (Figura 2.12d y 2.12e), con engolfamientos, con zonación en etapas (step zonation, Figura 2.12e y 2.12f), con desmezclas de feldespato alcalino (textura antipertítica).

Los vitroclastos conforman una matriz con trizas aplastadas y deformadas, en general bastante alteradas y desvitrificadas con formación de esferulitas, axiolitas y textura micropoiquilitica.

Los fiammes son abundantes, en general grandes, y donde la roca muestra un bajo nivel de alteración, pueden reconocerse dos tipos de fiammes (Figuras 2.11d, 2.11e y 2.12a), unos verdosos y

Figura 2.12. Ignimbrita Lítica (TL)

a) Esquema integrando todas las texturas de disequilibrio observadas en la Ignimbrita lítica; b) Fenocristal de feldespato alcalino engolfado; c) Textura rapakivi en cristaloclasto; d) fenocristal de plagioclasa cribada; e) Cristaloclasto de plagioclasa con el núcleo cribado y reborde zonado; f) Cristaloclasto de plagioclasa con zonación en etapas; g) Fenocristales de piroxenos y anfíboles cloritizados.

otros grisáceos. Ambos tipos de fragmentos pumíceos se presentan aplastados formando una textura de tipo eutaxítica con recristalización de tipo micropoiquilítica y esferulítica, donde se pueden reconocer algunos pocos sectores que preservan texturas con vesículas colapsadas. Los fiammes más abundantes son de composición feno-riodacítica, con fenocristales de cuarzo, feldespato alcalino, plagioclasa con y sin zonación, anfíbol y biotita, rodeados por una matriz de color castaño claro. El segundo tipo de fiammes, de composición feno-andesítica, posee fenocristales de plagioclasa cribada, piroxenos y anfíboles cloritizados (Figura 2.12g), en una matriz castaño oscura muy rica en opacos.

Los litoclastos son en general muy abundantes, superando en algunos casos hasta el 20 ó 30% en volumen de la roca, y en general rondan los 5 a 30 cm de diámetro (Figura 2.11b y 2.11c), aunque pueden exceder el metro de diámetro. Predominan los líticos de rocas metamórficas (esquistos y gneises), si bien también se reconocen fragmentos líticos provenientes de rocas volcánicas y subvolcánicas (ignimbritas, riolitas y andesitas).

Desde su base a techo, la Ignimbrita Lítica, muestra una disminución gradual en el tamaño y cantidad de los líticos y una aparente reducción en la proporción de los fiammes oscuros, al punto tal que las partes superiores de la Ignimbrita Lítica son difíciles de distinguir de los niveles inferiores de la Ignimbrita “Dacítica”.

De acuerdo a observaciones de campo y a datos de sondajes, los depósitos de esta ignimbrita superarían los 150 m de espesor, aunque el espesor total es muy difícil de estimar, y junto con la Ignimbrita “Dacítica” forman un paquete de superaría ampliamente los 250 m de potencia.

El tamaño y la abundancia de los líticos indican que se trata de un depósito de flujo ignimbrito originado por una erupción muy violenta, capaz de movilizar grandes bloques de roca de caja de un basamento no aflorante en la región.

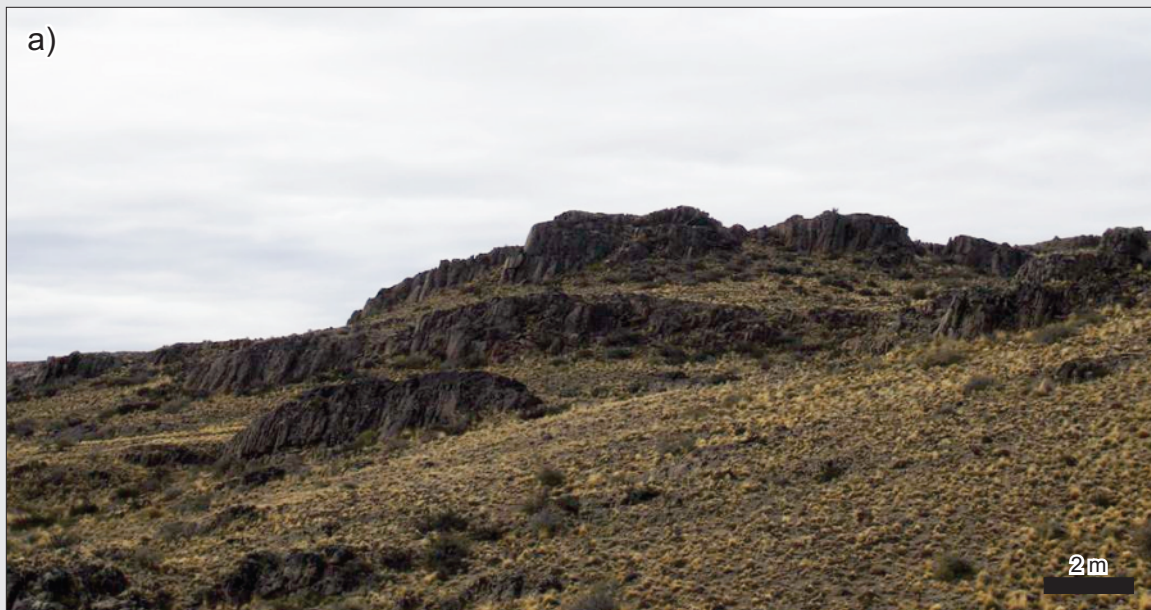
2.5.6. Ignimbrita “Dacítica”

Esta ignimbrita posee un color castaño rojizo en superficie meteorizada y verdosa en superficie fresca, forma afloramientos redondeados a escarpados, que en general se muestran con un marcado diaclasamiento (Figura 2.13a). Se trata de una roca con cristaloclastos de cuarzo, feldespatos y plagioclasas, rica en líticos de tamaños de 2 a 3 cm que en algunos casos pueden alcanzar tamaños de hasta 30 cm, y que hacia el techo desaparecen casi por completo. La composición de los mismos es similar a los descritos para la Ignimbrita Lítica. Los fiammes son achatados, en general abundantes, y de varios centímetros. En esta unidad se han podido reconocer los dos mismos tipos de pómez observados en la Ignimbrita Lítica (Figura 2.13b), con la salvedad que la proporción de los fiammes feno-andesíticos se encuentra fuertemente subordinada y desaparecen casi por completo hacia el techo de la unidad.

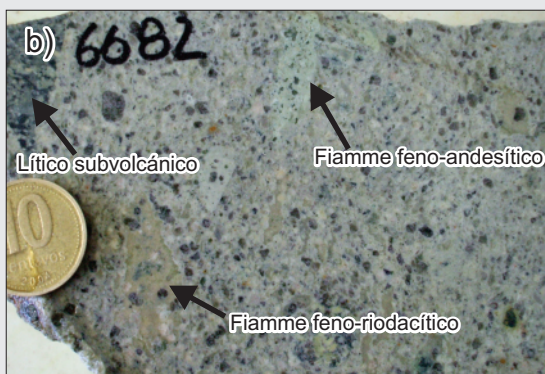
Los cristaloclastos son en general muy abundantes, siendo el cuarzo el mineral más importante, seguido por la plagioclasa y el feldespato alcalino (Figura 2.13c), los minerales máficos son en general escasos, observándose raramente biotita y anfíbol. Las proporciones de los cristaloclastos permiten clasificar a esta roca como una toba feno-riodacítica.

Los vitroclastos son abundantes, se trata de una ignimbrita con una gran proporción de matriz vítrea con cristaloclastos que son envueltos por trizas estiradas y deformadas con un arreglo de tipo eutaxítico (Figura 2.13c). En general la matriz se encuentra completamente desvitrificada con arreglo

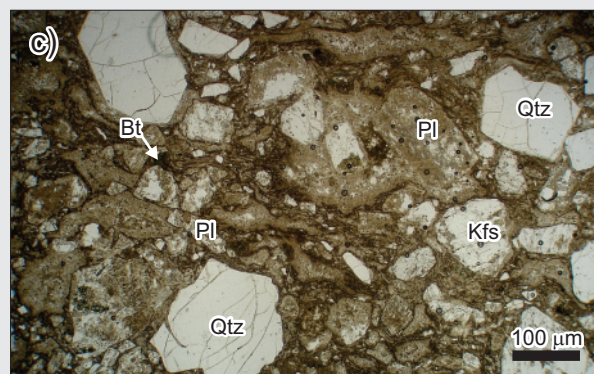
Figura 2.13. Ignimbrita Dacítica (TD)



Fotografía mostrando tres de los múltiples bancos que componen esta unidad.



Detalle de la roca, en esta fotografía pueden reconocerse dos tipos de fiammes y algunos líticos de naturaleza volcánica.



En esta microfotografía puede observarse la intensa deformación que han sufrido los vitroclastos de esta ignimbrita, así como también la baja proporción de minerales máficos que caracterizan a esta unidad. Foto con Nícoles paralelos.

micropoiquilítico de grano fino y en mucha menor proporción con arreglos esferulíticos y axiolíticos, y muchas veces se encuentra argilizada con grado variable y levemente oxidada. Ambos tipos de fiammes se presentan bastante achatados conformando una textura de tipo eutaxítica, y se caracterizan por la desvitrificación total a agregados micropoiquilíticos con menor participación de texturas granofíricas.

Esta unidad muestra una marcada estratificación que indica el apilamiento de sucesivos flujos ignimbriticos, de entre 5 y 10 m de potencia (Figura 2.13a), en un corto período de tiempo, varios de estos flujos presentan sus propios niveles basales de líticos. Los bancos observados en esta ignimbrita inclinan unos 10° a 20° hacia el noreste (con un rumbo de buzamiento aproximado hacia N40°).

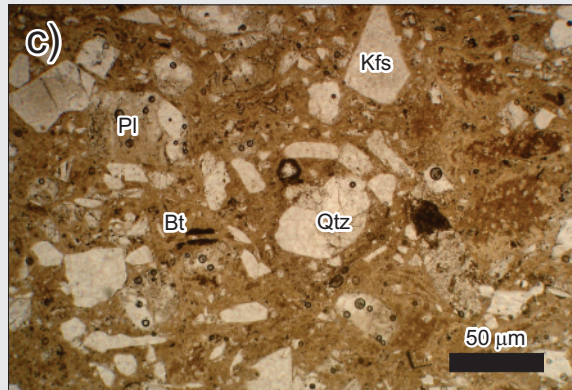
Desde su base a techo esta unidad presenta una escasa variación, interrumpida por algunos pocos niveles con enriquecimiento de líticos que parecen “colgados” y que marcan la transición entre los diferentes flujos que conforman esta unidad.

El pasaje transicional entre esta unidad y la Ignimbrita Lítica, junto con la similitud composicional de sus líticos y fiammes, podría estar indicando que ambas se originaron a partir de un mismo evento eruptivo.

Figura 2.14. Ignimbrita Morada (TM)



Esta unidad muestra un escaso desarrollo dentro del área de estudio, y en general aparece “colgada” a lo largo de valles actuales indicando que se encuentra rellenando un paisaje previo. El recuadro corresponde a una vista en perfil ilustrando la relación entre las unidades.



Vista detallada de la roca, pueden reconocerse los cristaloclastos de grano fino y la abundante matriz que caracterizan a esta unidad. b) vista a muestra de mano; c) vista al microscopio con Nícoles paralelos

2.5.7. Ignimbrita Morada

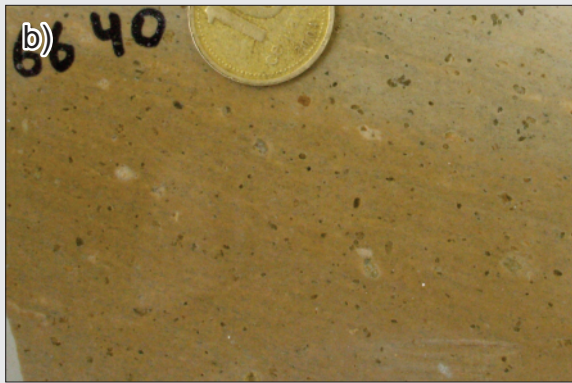
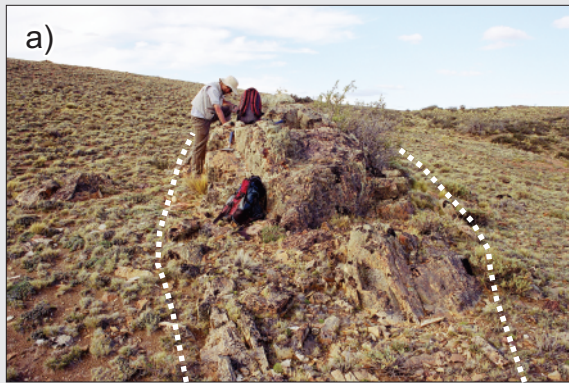
Esta ignimbrita posee afloramientos muy reducidos dentro del sector mapeado, ubicados en la esquina nororiental del área (Figura 2.4). Sin embargo, hacia el este, esta unidad muestra un desarrollo importante caracterizado por el apilamiento de numerosos flujos de poco espesor que le dan un aspecto estratificado.

La unidad se presenta cubriendo a la Ignimbrita Dacítica, apareciendo muchas veces “colgada” a lo largo de valles actuales, indicando que podría encontrarse rellenando un paisaje previo (Figura 2.14a).

Se trata de una ignimbrita rica en cristaloclastos con un elevado grado de soldamiento, una elevada proporción de matriz y escasos líticos pequeños de composición volcánica (Figura 2.14b). Los cristaloclastos más abundantes corresponden a feldespatos argilizados, seguidos por cuarzo y escasa biotita (Figura 2.14c). La geometría de los cristales de feldespatos permite estimar, con cierto grado de incertidumbre, que ambos tipos (plagioclasas y feldespato alcalino) se encuentran en proporciones similares, lo que permitiría clasificar tentativamente a la roca como una feno-riodacita.

Los vitroclastos conforman una abundante matriz vítrea con una alta proporción de material fino en relación a los cristaloclastos, que son en general pequeños (Figura 2.14b). La matriz presenta un aspecto

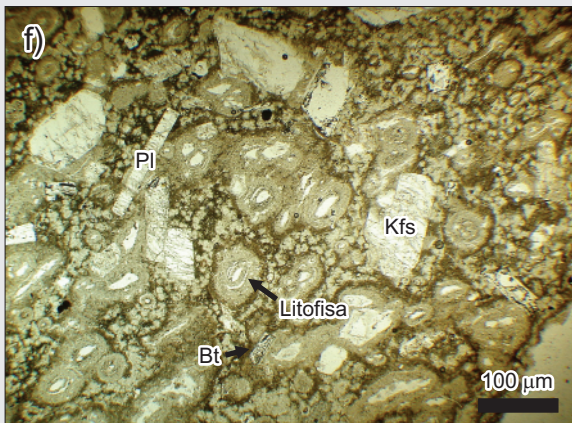
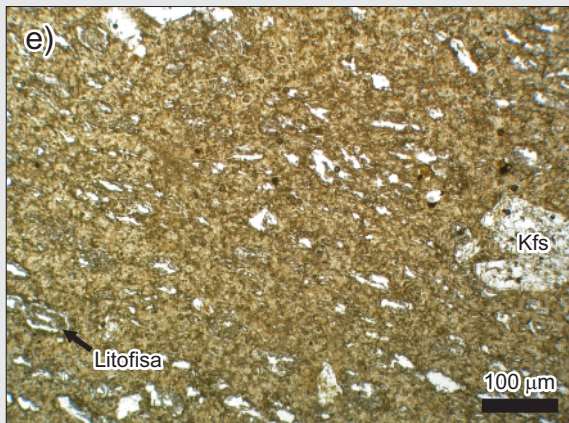
Figura 2.15. Diques (DqM y DqP)



Diques Microporfíricos (DqM). a) Afloramientos típicos; b) aspecto en muestra de mano que presenta la roca. Notar el bandeo y el color castaño claro típico de estas rocas.



Diques Porfíricos (DqP). c) Afloramientos típicos; d) aspecto en muestra de mano que presenta la roca. Notar el color verdoso que caracteriza a estos diques, las zonas más grisáceas corresponden a litofisas.



Detalle microscópico de los dos tipos de diques. e) aspecto típico de los Diques Microporfíricos (DqM) con una menor cantidad de fenocristales y menor grado de desvitrificación; f) Diques Porfíricos (DqP) con un elevado nivel de desvitrificación con abundantes litofisas y una mayor participación de fenocristales.

marcadamente fluidal con una recrystalización micropoiquilítica de grano fino. Los fiammes son abundantes y fuertemente aplanados, pero pequeños, no superando los 5 mm, indicando un alto grado de soldamiento y definiendo una textura eutaxítica. Se encuentran totalmente desvitrificados en un agregado micropoiquilítico de grano fino a medio.

2.5.8. Diques

Se pudieron reconocer dos tipos de diques en función de su patrón de afloramiento y aspecto en muestra de mano, sin embargo las observaciones a nivel microscópico solo permitieron realizar una

discriminación textural entre ambos, ya que mineralógicamente son muy similares.

Los diques son subverticales y muestran dos orientaciones principales según N160° y N100°, y fueron observados intruyendo a las Ignimbritas de Cristales y Lítica (Figura 2.5). No pudo observarse la relación de corte con las Ignimbritas Dacítica y Morada, sin embargo, trabajos distritales permitieron confirmar que los diques también cortan a estas unidades (Ruiz *et al.*, 2008a).

En algunos casos, los diques muestran interrupciones y “saltos” repentinos en su posición a lo largo del rumbo, conformando un arreglo de tipo “en echelón”; en otros casos, se observa un cambio gradual en el rumbo de los diques, entre las dos orientaciones mencionadas, definiendo estructuras sigmoidales (Figura 2.4).

El primer grupo de diques, Diques Microporfíricos (DqM) (Figura 2.15a y b), forman afloramientos sobreelevados con colores castaños rojizos a anaranjados, presentan una marcada foliación y bandeamiento por flujo en la cercanía con las paredes. En general muestran espesores de 2 a 4 metros y es común que tengan disyunción columnar en forma perpendicular a las paredes. En muestra de mano presenta fenocristales pequeños y poco abundantes, en una pasta afanítica castaña que en algunos casos puede presentar escasas estructuras de desvitrificación tipo litofisas de hasta 0,7 cm de diámetro.

A diferencia de los anteriores, el segundo grupo de diques, Diques Porfíricos (DqP) (Figura 2.15c y d), forman afloramientos rastreros de color gris verdoso que los hace fácilmente confundibles con las rocas circundantes y poseen espesores de entre 2 y 3 metros. También se ha podido observar bandeamiento y foliación por flujo, pero la disyunción columnar no se encuentra presente. Mesoscópicamente presenta abundantes fenocristales de feldespatos envueltos en una matriz verdosa con muy abundantes estructuras de desvitrificación tipo litofisas de menos de 1 mm de diámetro (Figura 2.15e y f).

Se trata de rocas de textura porfírica (DqP) a microporfírica (DqM) con fenocristales de plagioclasas, feldespato alcalino, y biotita inmersos en una pasta vítrea de aspecto fluidal (Figura 2.15e y f). Es común que los fenocristales se encuentren orientados en forma paralela a la foliación de la roca. Se observa una marcada variación en la cantidad de fenocristales respecto a la pasta a lo largo de las diferentes muestras. Las proporciones de los fenocristales observados permiten clasificar a estas rocas como feno-andesitas a feno-latitas.

Los fenocristales se encuentran inmersos en una pasta fluidal con textura hialopilitica a hialoofítica, rica en vidrio y microlitos de plagioclasa, biotita y minerales opacos. La fluidalidad está caracterizada por la alternancia de bandas con distintas proporciones de microlitos, vidrio y estructuras de desvitrificación.

Se observan abundantes texturas de desvitrificación del tipo micropoiquilítico, esferulítico y litofisas, que muchas veces acentúan la fluidalidad de la roca (Figura 2.15e y f).

2.5.9. Megabrecha

En el extremo noroeste del área mapeada se ha reconocido una serie de afloramientos elongados en sentido NO-SE (Figura 2.4), correspondientes a una brecha matriz sostén con abundantes megaclastos de hasta varios metros de diámetro.

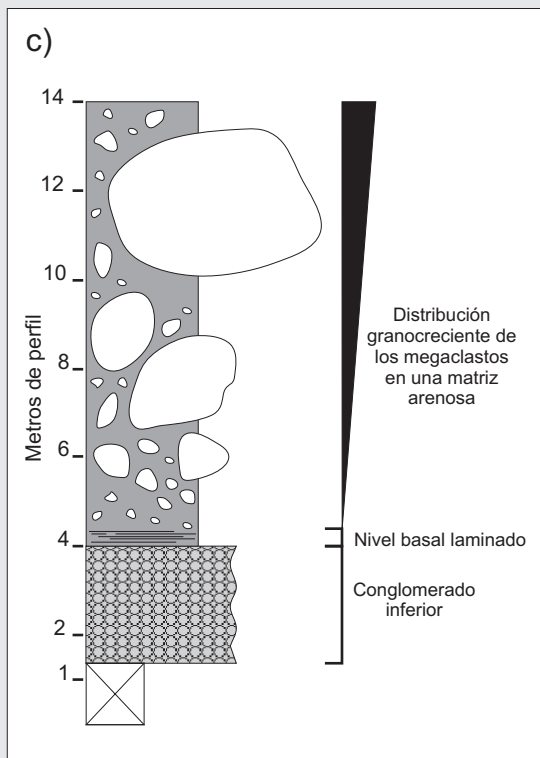
En líneas generales estos depósitos forman lomadas suaves con los afloramientos de los megaclastos asomando en forma aislada entre la matriz que en general no se observa (Figura 2.16a). El mejor afloramiento de esta unidad se reconoce en la península de la laguna ubicada hacia el oeste del

Figura 2.16. Megabrecha (MB)

Vista general de los afloramientos de la Megabrecha vistos en superficie. Notar la forma redondeada de los megaclastos que afloran formando montículos aislados rodeados por la matriz que en este caso no aflora.



Vista hacia el sudeste mostrando un corte del depósito en el área de la península. En la parte inferior se puede reconocer un nivel conglomerádico que es cubierto por el depósito de la Megabrecha.



Columna estratigráfica para la Megabrecha en la península de la Laguna (localidad tipo).



Megaclasto brechado, posiblemente durante el transporte y depositación de la megabrecha.



Detalle del nivel conglomerádico Inferior.

Figura 2.17. Areniscas Coquinoides

Afloramientos de las areniscas y areniscas coquinoides de la Fm. Monte León.

portal de la mina, donde se observa el espesor casi completo de la unidad, que totaliza unos 10 a 15 m (Figura 2.16b).

Se trata de una brecha polimíctica con gradación inversa en el tamaño de los megaclastos (Figura 2.16b y c), que varían en tamaño desde centímetros hasta casi 8 metros. En algunos casos los clastos poseen un tamaño que equivale al espesor total del depósito. Composicionalmente, los clastos corresponden a varios tipos de ignimbritas, lavas y clastos calcáreos con restos de estromatolitos. La mayoría de los clastos presentan un aspecto brechoso (Figura 2.16d), algunos presentan únicamente sus bordes brechados, en tanto que los restantes presentan un aspecto interno fuertemente fracturado, esto estaría indicando que los mismos fueron sujetos a atrición durante su transporte (Reubi y Hernández, 2000; Schneider y Fisher, 1998).

La matriz posee aspecto tobáceo, con tamaño de grano medio a grueso, y en general se presenta en forma masiva, aunque en la proximidad de los megaclastos desarrolla una laminación envolvente que podría estar indicando que la misma se habría originado por la atrición de los bloques mayores. Los 40 cm basales del depósito se presentan libres de clastos y con una incipiente laminación paralela, que representarían la cizalla basal del mismo (Figura 2.16b y c). Por debajo de este nivel se observa un conjunto de conglomerados clastosostén que representan la parte más basal de la secuencia (Figura 2.16c y e).

Las características observadas en este depósito permiten clasificarlo como formado a partir de una avalancha y correspondería al tipo conocido como Avalancha de Detritos (Debris Avalanche) (Reubi y Hernández, 2000; Schneider y Fisher, 1998).

Los depósitos de esta Megabrecha apoyan sobre los depósitos de Tobas y Tufitas Superiores, como así también sobre la Ignimbrita de Cristales y la Ignimbrita Lítica, y muestra una geometría que permite interpretar que tuvo una distribución encausada a lo largo de antiguos valles. No se ha podido observar la relación estratigráfica con la Ignimbrita Morada ni con los Diques, sin embargo la presencia de clastos de lavas ácidas hace pensar que se trata de un depósito posterior a ambas unidades.

2.5.10. Areniscas Coquinoides de la Fm. Monte León

Se trata de areniscas de grano medio de coloración morada a grisácea (Figura 2.17), con

intercalaciones de areniscas coquinoides muy ricas en fósiles de bivalvos, gasterópodos y briozoos entre otros, que indican una edad Terciaria (Panza *et al.*, 1998).

Esta unidad aparece como manchones de muy escaso desarrollo, ubicados en los extremos SO y NO del área relevada (Figura 2.4). Se la observa cubriendo a la Ignimbrita Lítica y a la Ignimbrita Dacítica y corresponde a la unidad más joven depositada con anterioridad a los sedimentos aluviales y lacustres modernos.

2.6. Geoquímica de roca

Se realizaron un total de 22 análisis químicos de roca por elementos mayoritarios, minoritarios, trazas y tierras raras. Los análisis fueron realizados en Acme Labs, Canadá, mediante espectrometría de emisión ICP (Tabla 2.1 y Anexo III).

Para las muestras seleccionadas, se han realizado análisis de roca total, con excepción de las muestras correspondientes a la Ignimbrita Lítica donde se muestrearon únicamente los fragmentos pumíceos, ya que el elevado contenido de fragmentos líticos hubiera enmascarado la composición real de la roca.

A pesar de los recaudos tomados al momento de seleccionar las muestras, las mismas presentan un grado de alteración de leve a moderado para las rocas y elevado en el caso de los pómez, con valores de LOI (loss on ignition) que varían desde 0,6% hasta 5,9% para las muestras de roca total; y de entre 4,6% y 8,3% para los fragmentos pumíceos (Tabla 2.1).

Los procesos de alteración, ya sean meteóricos o hidrotermales, producen la movilización de algunos elementos trazas y de varios elementos mayoritarios, especialmente el sodio, el potasio y el silicio lo que dificulta el uso de las clasificaciones químicas basadas en elementos mayoritarios (Giffkins *et al.*, 2005; Páez *et al.*, 2010). En el caso de las muestras estudiadas, se ha podido observar una correlación entre el grado de alteración (representado por el LOI) y los contenidos de algunos elementos mayoritarios: negativa para el SiO_2 y K_2O , y positiva para el Al_2O_3 , FeOt, CaO y Na_2O .

La elevada movilidad de los elementos mayoritarios que son utilizados en los diagramas TAS, AFM, K_2O vs. SiO_2 , y A/CNK vs. A/NK (Le Bas *et al.*, 1986, Irvine y Baragar 1971, Peccerillo y Taylor 1976, Maniar y Piccoli 1989), hace necesaria la utilización de elementos traza inmóviles, como el diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd 1977) o el diagrama Y vs. Zr (MacLean y Barrett, 1993) para una mejor caracterización de las rocas estudiadas. Se han utilizado diagramas de variación basados en elementos mayoritarios únicamente para las rocas con un bajo nivel de alteración (LOI < 3%). El tratamiento de los datos fue realizado utilizando el recálculo en base anhidra de todos los análisis.

En su mayoría, las muestras analizadas en el presente trabajo corresponden a rocas ácidas subalcalinas, pertenecientes a la serie calcoalcalina, de alto potasio y naturaleza peraluminosa (Figura 2.18a, b, c, d y e).

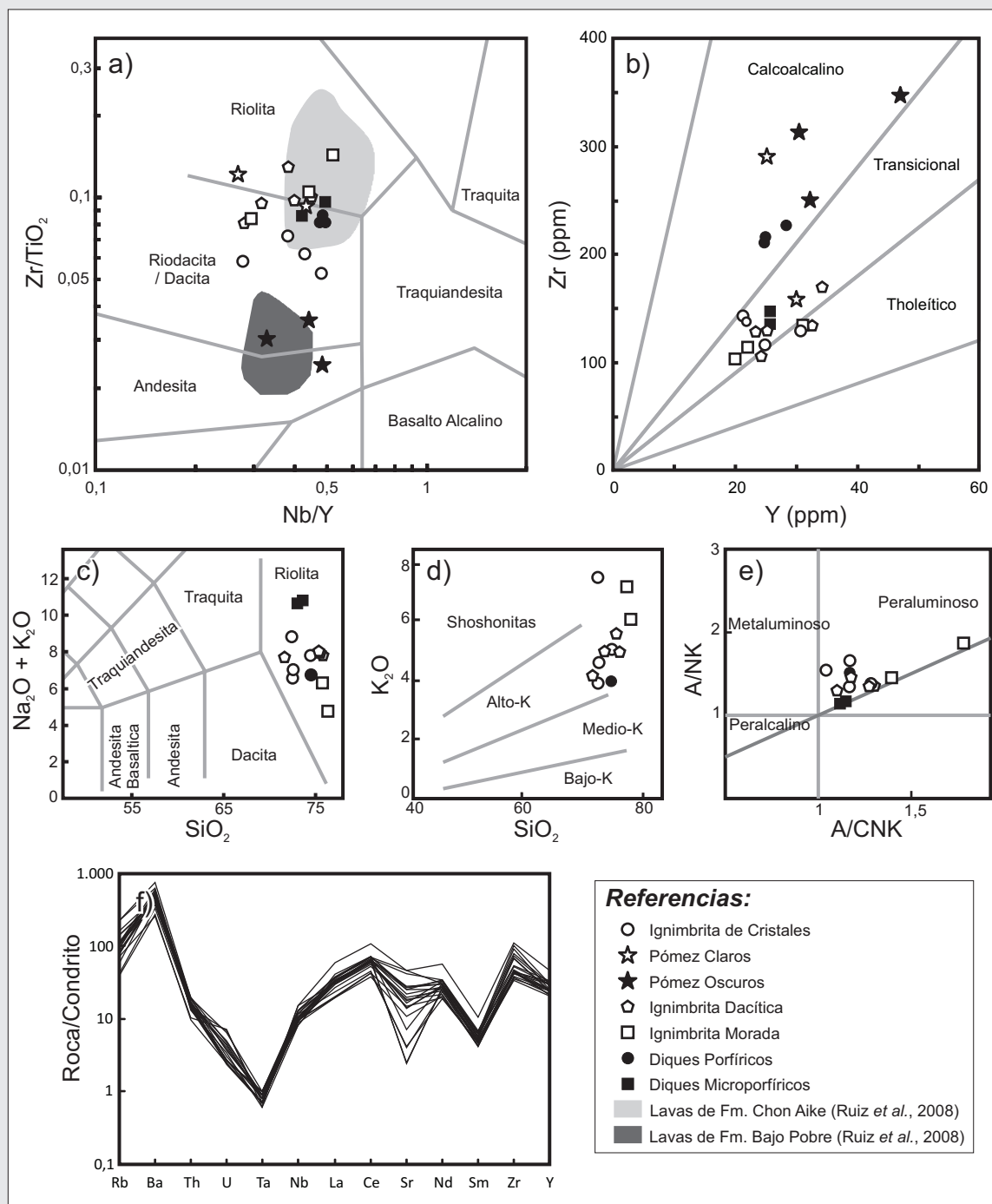
La Ignimbrita de Cristales se clasifica como una riodacita en el diagrama de inmóviles (Figura 2.18a), y como una riolita de acuerdo con el diagrama TAS (Figura 2.18c).

La Ignimbrita Lítica se caracteriza por la presencia de dos tipos de fragmentos pumíceos. Estos pómez fueron analizados y evidencian composiciones andesítica/dacítica y riolíticas (Figura 2.18a). Al comparar la composición de los fragmentos pumíceos con las composiciones de las lavas presentes en el

Tabla 2.1. Geoquímica de Roca

| Nro. De Muestra | 6626 | 6628 | 6631 | 6702 | 9096 | 9077 | 9097 | 9100 | 9078 | 6680 | 9020 | 9024 | 9029 | 9030 | 6694 | 6757 | 6761 | 6690 | 6650 | 6695 | 6639 |
|---|--------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Unidad ^a | TC | TC | TC | TC | TL-C | TL-C | TL-O | TL-O | TL-O | TD | TD | TD | TD | TD | TM | TM | TM | DqP | DqP | DqP | DqM |
| <i>Elementos Mayoritarios (% en peso)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SiO ₂ | 70,48 | 70,42 | 72,99 | 70,49 | 58,75 | 59,30 | 51,39 | 54,28 | 55,99 | 70,76 | 71,99 | 74,04 | 73,92 | 69,44 | 75,45 | 71,67 | 75,74 | 72,89 | 68,67 | 69,70 | 72,99 |
| Al ₂ O ₃ | 13,41 | 13,82 | 13,08 | 13,79 | 17,78 | 13,42 | 17,98 | 17,73 | 17,97 | 12,22 | 13,54 | 12,91 | 13,17 | 14,53 | 12,56 | 12,51 | 12,68 | 12,99 | 14,10 | 13,25 | 13,55 |
| Fe ₂ O ₃ T | 3,42 | 3,81 | 3,02 | 3,44 | 4,15 | 2,73 | 9,61 | 7,35 | 7,34 | 2,47 | 2,76 | 2,50 | 2,42 | 3,21 | 2,39 | 2,69 | 1,56 | 3,20 | 2,81 | 3,29 | 1,59 |
| FeOT | 3,08 | 3,43 | 2,72 | 3,10 | 3,73 | 2,46 | 8,65 | 6,61 | 6,60 | 2,22 | 2,48 | 2,25 | 2,18 | 2,89 | 2,15 | 2,42 | 1,40 | 2,88 | 2,53 | 2,96 | 1,43 |
| MgO | 0,35 | 0,43 | 0,34 | 0,30 | 1,12 | 0,48 | 2,64 | 2,49 | 2,41 | 0,26 | 0,33 | 0,20 | 0,29 | 0,70 | 0,19 | 0,53 | 0,10 | 0,47 | 0,44 | 0,37 | 0,05 |
| CaO | 2,30 | 1,93 | 0,80 | 0,42 | 3,89 | 7,56 | 2,63 | 5,27 | 2,62 | 0,47 | 1,03 | 0,32 | 0,22 | 1,33 | 0,15 | 1,98 | 0,15 | 1,36 | 2,30 | 0,52 | 0,10 |
| Na ₂ O | 2,33 | 2,56 | 2,64 | 1,29 | 3,83 | 2,62 | 4,02 | 3,14 | 5,57 | 2,63 | 3,15 | 2,35 | 2,34 | 3,37 | 0,26 | 0,68 | 0,74 | 2,67 | 3,12 | 3,46 | 0,69 |
| K ₂ O | 4,47 | 3,79 | 4,98 | 7,27 | 4,21 | 5,11 | 1,93 | 2,06 | 1,90 | 4,89 | 4,85 | 5,26 | 5,42 | 4,06 | 5,87 | 5,02 | 7,03 | 3,93 | 4,79 | 4,22 | 9,99 |
| TiO ₂ | 0,22 | 0,27 | 0,16 | 0,22 | 0,31 | 0,13 | 1,14 | 0,88 | 1,02 | 0,13 | 0,14 | 0,10 | 0,11 | 0,21 | 0,08 | 0,16 | 0,10 | 0,25 | 0,28 | 0,26 | 0,16 |
| P ₂ O ₅ | 0,058 | 0,065 | 0,048 | 0,022 | 0,095 | 0,039 | 0,306 | 0,228 | 0,280 | 0,044 | 0,019 | 0,018 | 0,006 | 0,063 | 0,020 | 0,031 | 0,021 | 0,077 | 0,085 | 0,069 | 0,022 |
| MnO | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,06 | 0,11 | 0,18 | 0,15 | 0,11 | 0,03 | 0,04 | 0,04 | 0,03 | 0,08 | 0,01 | 0,05 | 0,01 | 0,05 | 0,07 | 0,02 | 0,01 |
| Cr ₂ O ₃ | <0,002 | 0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | 0,011 | 0,008 | 0,011 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 | <0,002 |
| LOI | 2,7 | 2,7 | 1,8 | 2,5 | 5,5 | 8,3 | 7,9 | 6,1 | 4,6 | 5,9 | 2,0 | 2,1 | 1,9 | 2,8 | 2,6 | 4,5 | 1,7 | 1,9 | 3,1 | 4,6 | 0,6 |
| Total | 99,82 | 99,82 | 99,83 | 99,78 | 99,75 | 99,78 | 99,69 | 99,74 | 99,77 | 99,81 | 99,80 | 99,80 | 99,81 | 99,76 | 99,54 | 99,78 | 99,82 | 99,79 | 99,78 | 99,79 | 99,78 |
| <i>Elementos Traza (ppm)</i> | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rb | 213,6 | 160,2 | 210,7 | 330,3 | 172,5 | 217,5 | 83,0 | 79,6 | 145,4 | 224,6 | 200,7 | 222,9 | 212,2 | 164,1 | 284,2 | 186,6 | 279,7 | 117,0 | 184,8 | 155,9 | 450,5 |
| Sr | 139,6 | 176,3 | 127,4 | 96,9 | 324,7 | 94,6 | 323,3 | 298,6 | 114,7 | 123,7 | 151,5 | 106,5 | 75,6 | 182,9 | 27,7 | 48,9 | 28,7 | 199,8 | 193,5 | 195,8 | 17,1 |
| Y | 21,9 | 21,2 | 24,9 | 30,8 | 25,2 | 30,0 | 47,1 | 30,4 | 32,2 | 23,6 | 32,4 | 25,4 | 24,4 | 34,0 | 22,4 | 30,8 | 20,3 | 24,9 | 28,4 | 24,8 | 25,7 |
| Zr | 137,3 | 142,9 | 116,4 | 128,8 | 290,5 | 158,6 | 347,9 | 313,7 | 250,5 | 128,9 | 133,6 | 129,8 | 107,2 | 169,7 | 114,7 | 134,0 | 104,6 | 216,2 | 227,3 | 211,0 | 137,2 |
| Nb | 9,4 | 10,2 | 9,5 | 8,6 | 10,9 | 8,1 | 15,5 | 13,4 | 15,6 | 10,3 | 10,3 | 9,7 | 9,9 | 9,6 | 11,7 | 9,1 | 9,0 | 12,1 | 13,6 | 12,2 | 10,8 |
| Cs | 17,5 | 5,3 | 12,4 | 6,2 | 2,2 | 5,5 | 2,5 | 3,7 | 12,2 | 4,5 | 4,5 | 4,3 | 5,4 | 6,7 | 9,9 | 8,1 | 9,8 | 6,1 | 7,1 | 15,2 | 6,4 |
| Ba | 863 | 877 | 760 | 964 | 916 | 1240 | 691 | 577 | 542 | 982 | 969 | 833 | 1083 | 1037 | 889 | 1177 | 828 | 1110 | 1123 | 1030 | 1314 |
| La | 30,7 | 33,0 | 27,5 | 35,3 | 36,0 | 33,7 | 60,3 | 37,7 | 31,0 | 30,2 | 31,7 | 21,0 | 19,5 | 43,1 | 23,5 | 37,4 | 20,0 | 34,0 | 37,5 | 34,5 | 33,1 |
| Ce | 57,8 | 64,4 | 53,1 | 63,0 | 70,6 | 63,6 | 112,1 | 70,1 | 63,1 | 60,2 | 63,1 | 44,0 | 39,6 | 75,2 | 47,1 | 74,6 | 44,2 | 67,5 | 73,6 | 68,0 | 67,8 |
| Pr | 6,82 | 7,49 | 6,35 | 8,19 | 8,79 | 7,96 | 14,73 | 9,21 | 8,67 | 7,64 | 7,93 | 5,66 | 5,42 | 9,98 | 6,40 | 9,18 | 5,52 | 8,18 | 9,11 | 8,42 | 8,15 |
| Nd | 24,7 | 26,5 | 21,8 | 28,6 | 31,8 | 29,1 | 58,0 | 35,2 | 33,8 | 26,9 | 28,0 | 20,0 | 21,4 | 35,9 | 24,8 | 31,6 | 19,9 | 30,3 | 33,9 | 31,2 | 28,4 |
| Sm | 4,18 | 4,60 | 4,06 | 5,26 | 5,60 | 5,37 | 10,66 | 6,42 | 6,66 | 5,15 | 6,08 | 4,66 | 4,35 | 6,86 | 5,06 | 6,45 | 4,60 | 5,42 | 5,75 | 5,50 | 5,02 |
| Eu | 0,74 | 0,82 | 0,57 | 0,92 | 1,37 | 1,59 | 1,75 | 1,56 | 1,18 | 0,78 | 0,95 | 0,55 | 0,52 | 1,27 | 0,64 | 0,89 | 0,55 | 0,79 | 0,92 | 0,79 | 0,60 |
| Gd | 3,72 | 3,87 | 3,97 | 4,70 | 5,10 | 5,25 | 10,05 | 5,93 | 6,57 | 4,78 | 5,46 | 3,92 | 4,13 | 6,05 | 4,88 | 5,68 | 3,88 | 4,56 | 5,29 | 4,85 | 4,60 |
| Tb | 0,60 | 0,62 | 0,65 | 0,84 | 0,78 | 0,84 | 1,52 | 0,91 | 1,03 | 0,77 | 0,97 | 0,74 | 0,71 | 1,02 | 0,77 | 0,98 | 0,68 | 0,72 | 0,83 | 0,74 | 0,73 |
| Dy | 3,57 | 3,51 | 3,93 | 4,77 | 4,32 | 4,98 | 8,32 | 5,00 | 5,71 | 4,35 | 5,38 | 4,16 | 3,91 | 5,69 | 4,17 | 5,02 | 3,71 | 4,23 | 4,67 | 4,07 | 4,31 |
| Ho | 0,75 | 0,76 | 0,85 | 1,02 | 0,93 | 1,05 | 1,71 | 1,09 | 1,16 | 0,88 | 1,13 | 0,95 | 0,88 | 1,08 | 0,89 | 1,06 | 0,76 | 0,85 | 0,95 | 0,86 | 0,88 |
| Er | 2,08 | 2,01 | 2,41 | 3,01 | 2,46 | 2,83 | 4,34 | 2,91 | 3,15 | 2,38 | 3,05 | 2,76 | 2,59 | 3,00 | 2,47 | 3,14 | 2,22 | 2,46 | 2,53 | 2,37 | 2,50 |
| Tm | 0,35 | 0,35 | 0,41 | 0,48 | 0,41 | 0,46 | 0,66 | 0,48 | 0,50 | 0,38 | 0,50 | 0,47 | 0,38 | 0,48 | 0,43 | 0,48 | 0,37 | 0,39 | 0,42 | 0,39 | 0,43 |
| Yb | 2,21 | 2,09 | 2,65 | 2,93 | 2,47 | 2,79 | 3,89 | 2,77 | 3,02 | 2,51 | 2,89 | 2,96 | 3,01 | 3,01 | 2,57 | 2,90 | 2,10 | 2,40 | 2,62 | 2,43 | 2,78 |
| Hf | 4,1 | 3,8 | 3,7 | 4,2 | 7,6 | 4,8 | 8,1 | 7,3 | 6,5 | 4,2 | 4,9 | 4,9 | 4,3 | 5,5 | 3,9 | 4,2 | 4,1 | 5,5 | 5,5 | 5,9 | 4,6 |
| Lu | 0,36 | 0,35 | 0,44 | 0,48 | 0,41 | 0,47 | 0,63 | 0,46 | 0,49 | 0,41 | 0,47 | 0,47 | 0,40 | 0,46 | 0,43 | 0,45 | 0,33 | 0,39 | 0,44 | 0,39 | 0,41 |
| Ta | 0,7 | 0,7 | 0,8 | 1,0 | 0,8 | 0,6 | 0,7 | 0,7 | 0,6 | 0,7 | 1,0 | 0,8 | 0,9 | 0,7 | 1,0 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 0,9 | 0,9 | 0,9 |
| Th | 16,1 | 16,3 | 17,8 | 15,7 | 16,8 | 12,9 | 14,7 | 9,8 | 10,6 | 16,3 | 15,0 | 15,3 | 15,0 | 14,0 | 16,6 | 13,9 | 14,9 | 18,7 | 20,2 | 19,2 | 16,9 |
| U | 2,8 | 2,8 | 3,1 | 2,7 | 4,5 | 3,4 | 7,1 | 2,5 | 7,2 | 2,4 | 2,7 | 4,6 | 2,8 | 2,5 | 2,7 | 2,5 | 4,2 | 3,9 | 4,8 | 3,8 | 5,2 |

^a Unidades: TC: Igimbrita de Cristales; TL-C: Igimbrita Lítica, Pómez Claros; TL-O: Igimbrita Lítica, Pómez Oscuros; TM: Igimbrita Morada; DqP: Diques Porfíricos; DqM: Diques Microporfíricos

Figura 2.18. Geoquímica de Roca

Diagramas de discriminación geoquímica para las rocas de Mina Martha. a) Diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂ (Winchester y Floyd, 1977); b) Diagrama Y vs. Zr (MacLean y Barrett, 1993); c) Diagrama TAS (Le Bas *et al.*, 1986); d) Diagrama K₂O vs. SiO₂ (Peccerillo y Taylor, 1976); e) Diagrama A/NK vs. A/CNK (Maniar y Piccoli, 1989); f) Diagrama Spider normalizado a condrito para todas las muestras estudiadas (Sun y McDonough, 1989). La geoquímica de las lavas pertenecientes a la Fm. Bajo Pobre y la Fm. Chon Aike fue tomada de Ruiz *et al.* (2008). En los gráficos que utilizan elementos mayoritarios se han omitido las muestras con LOI > 3%.

distrito (Ruiz *et al.*, 2008), se puede apreciar una clara correspondencia entre la composición de los pómez oscuros y las rocas intermedias de la Formación Bajo Pobre, y entre los pómez claros y las rocas ácidas pertenecientes a la Formación Chon Aike (Figura 2.18a).

La Ignimbrita "Dacítica" muestra en el diagrama TAS una composición riolítica (Figura 2.18c), en tanto que el diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂ restringe su clasificación a una riodacita (Figura 2.18a).

La Ignimbrita Morada, tanto en el diagrama TAS como el diagrama Nb/Y vs. Zr/TiO₂, se clasifica como de composición riolítica (Figura 2.18a y c).

Los diques que cortan la secuencia de rocas piroclásticas observada en Mina Martha han sido clasificados, mediante uso de los diagramas TAS y Nb/Y vs. Zr/TiO₂, como riolitas con una leve tendencia hacia las riodacitas (Figura 2.18a y c). Si bien petrográficamente no se podía observar una clara diferencia composicional entre los dos tipos de diques, la geoquímica permite distinguirlos en función del grado de diferenciación que muestran en el diagrama TAS y el diagrama Y vs. Zr. De esta manera, si bien ambos diques son de composición riolítica, los diques microporfíricos muestran un mayor grado de diferenciación que los diques porfíricos.

Con respecto a la distribución de los elementos trazas (Sun y McDonough 1989), se reconoce una clara coherencia entre las composiciones de todas las muestras (Figura 2.18f); donde además, se puede observar una progresiva disminución en el contenido del estroncio (Sr) desde las muestras menos diferenciadas hasta las más diferenciadas.

2.7. Edad del vulcanismo

Con el fin de ajustar la edad del vulcanismo, se realizó una determinación geocronológica por el método ³⁹Ar/⁴⁰Ar sobre cristales de sanidina pertenecientes a la Ignimbrita de Cristales (Figura 2.19). Los análisis fueron realizados en el Laboratorio de Geocronología perteneciente al Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN), ubicado en la ciudad de Santiago de Chile. Los resultados obtenidos arrojaron una edad plateau de 157,6 ± 1,0 Ma (Figura 2.19 y Anexo V) y una edad por isócrona de 157,4 ± 1,8 Ma, lo que permite ubicar el funcionamiento del vulcanismo en el Jurásico Superior, más específicamente dentro del piso Oxfordiano (IUGS, 2010).

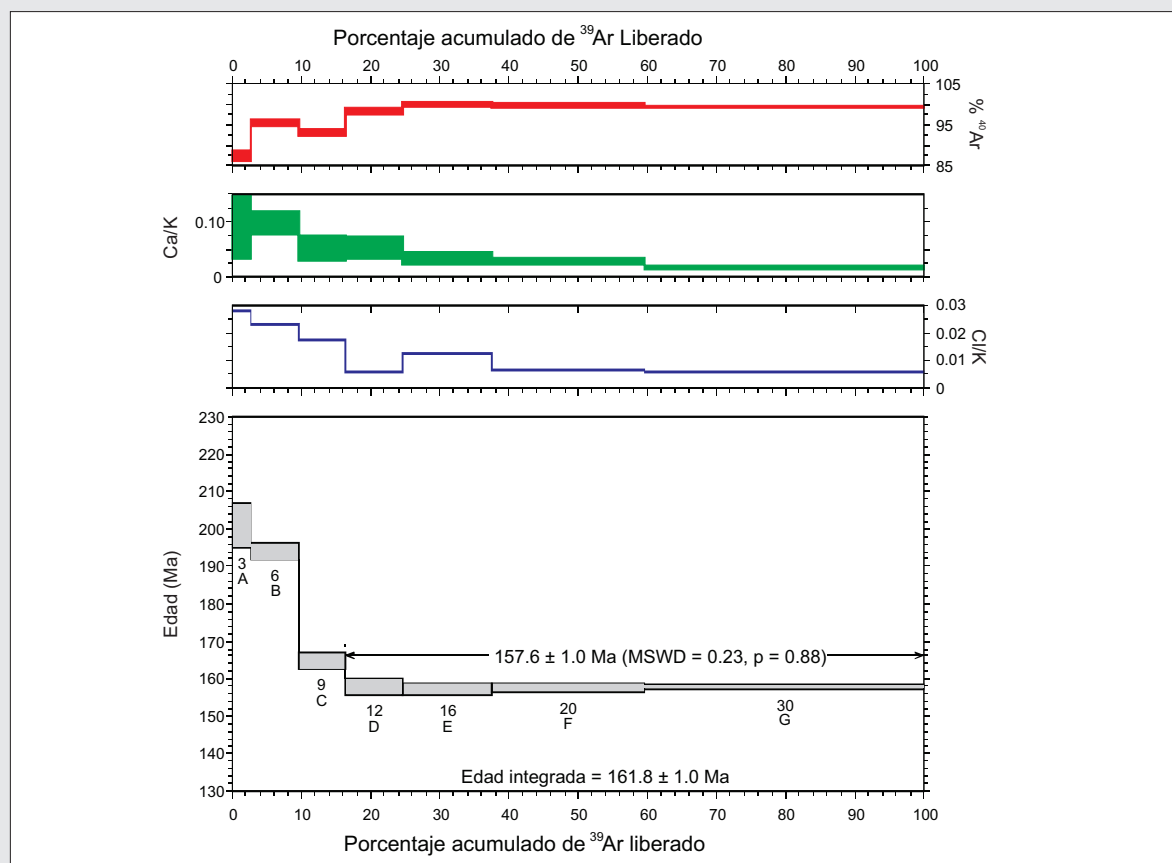
2.8. Consideraciones finales

En el trabajo de Ruiz *et al.* (2008) se interpretó al Distrito Cerro Primero de Abril como un importante centro volcánico jurásico caracterizado por un aparato volcánico de colapso de tipo caldera. El área de Mina Martha se encuentra ubicada en el sector centro sur de este distrito, en las proximidades del borde sur de la fractura anular de la caldera, y en ella afloran parte de las extensas unidades reconocidas en este sector del Macizo del Deseado.

La columna estratigráfica observada en Mina Martha se caracteriza por cinco unidades de flujo piroclástico, dos unidades piroclásticas retrabajadas, una unidad sedimentaria, y dos tipos de diques.

Dentro del esquema propuesto por Ruiz *et al.* (2008) para la geología distrital, las similitudes petrográficas y geoquímicas de las Ignimbritas Dacítica Fina, de Cristales y Morada permitirían agruparlas dentro del conjunto de las ignimbritas cristaloclásticas, en tanto que la Ignimbrita Lítica y "Dacítica" corresponderían al conjunto de las ignimbritas litoclásticas (Figuras 2.3 y 2.5).

Todas las unidades analizadas en el área de Mina Martha corresponden a rocas subalcalinas pertenecientes a la serie calcoalcalina, con alto potasio y naturaleza peraluminosa (Figura 2.18), características distintivas del vulcanismo Jurásico del Grupo Bahía Laura (Pankhurst *et al.*, 1998). De acuerdo con los datos aportados por las tierras raras (Figura 2.18), se plantea que todas las rocas en este

Figura 2.19. Edad del vulcanismo

Edad $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ para cristales de sanidina de la Ignimbrita de Cristales (Muestra 6627).

estudio estarían relacionadas por procesos de cristalización fraccionada, involucrando al menos el fraccionamiento de plagioclasas, como lo evidencia la disminución del contenido de estroncio (Sr) al aumentar el grado de diferenciación (Wilson, 1989). En Mina Martha, este evento volcánico ocurrió en el Jurásico Superior, más específicamente en el piso Oxfordiano, alrededor de los $157,6 \pm 1,0 \text{ Ma}$ (Figura 2.19).

El inicio del magmatismo del área de Mina Martha estuvo caracterizado por un vulcanismo que originó flujos ignimbríticos pertenecientes a las ignimbritas cristaloclásticas (Ignimbrita Dacítica Fina y de Cristales). Este vulcanismo inicial fue de naturaleza episódica, ya que luego de cada erupción le seguía una pausa que permitió la instalación de sistemas fluviales y lacustres con ecosistemas asociados (depósitos de Tobas y Tufitas).

En función de las características de campo, petrográficas y geoquímicas, las Ignimbritas Lítica y "Dacítica" se pueden agrupar como pertenecientes a un mismo evento volcánico (el conjunto de las ignimbritas litoclásticas de Ruiz *et al.*, 2008). De esta manera estas unidades conforman un paquete que supera los 250 m de potencia y que representa un evento volcánico particularmente explosivo dentro de la región en estudio.

La convivencia de dos tipos de fragmentos pumíceos en estas unidades, sumado a las texturas de disequilibrio observadas en las secciones delgadas, permiten interpretar que estas ignimbritas se habrían originado por una mezcla de dos magmas composicionalmente distintos que quedaron preservados como dos tipos de fragmentos pumíceos (mingling). Existe una correspondencia entre la composición de los pómez oscuros y las rocas intermedias de la Formación Bajo Pobre, y entre los pómez

claros y las rocas ácidas pertenecientes a la Formación Chon Aike (Figura 2.18a).

De esa manera se plantea que estas ignimbritas se habrían originado por la mezcla de los magmas intermedios y ácidos pertenecientes a las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike., suceso que habría gatillado la erupción. Este proceso habría ocurrido por el ingreso de una cantidad subordinada de magma intermedio dentro de una cámara magmática ácida, esto habría producido un aumento en la energía térmica de la cámara magmática, desencadenando una erupción muy violenta, capaz de arrancar grandes fragmentos del basamento no aflorante en la región (Eichelberger *et al.*, 2000, Summer y Wolff 2003, Troll *et al.*, 2004).

La disminución en la proporción de los fragmentos pumíceos andesíticos observada a lo largo del perfil de estas unidades, estaría relacionada a cambios dentro de la cámara magmática ocurridos a lo largo de la erupción. Ya sea por variaciones en la posición de la interface entre ambos magmas, o bien sujeta a la falta de disponibilidad de magma andesítico a lo largo de toda la erupción (Eichelberger *et al.*, 2000, Summer y Wolff 2003, Troll *et al.*, 2004).

La gran energía de los momentos iniciales de la erupción explicaría el elevado contenido y las grandes dimensiones de los fragmentos líticos, así como también la potencia de los niveles basales de la Ignimbrita Lítica. Con la progresiva desgasificación de la cámara, ocurre una disminución en la violencia de la erupción, esto hace que tanto los fragmentos líticos como la potencia de los bancos sean cada vez menores, y que de esta manera la Ignimbrita Lítica pase transicionalmente a la Ignimbrita "Dacítica".

El extraordinario volumen de estas unidades y la complejidad de los procesos que llevaron a su formación, evidencian su vinculación con un aparato volcánico de colapso tipo caldera tal y como fuese planteado originalmente por Ruiz *et al.* (2008).

Luego de la erupción que originó a las ignimbritas litoclásticas, se vuelve al magmatismo "normal" para el distrito, es decir el desarrollo de otra ignimbrita perteneciente al conjunto de ignimbritas cristaloclásticas (Ignimbrita Morada), pero más evolucionadas.

Con posterioridad, se produce la intrusión de los Diques Microporfíricos y Porfíricos. Estos diques representan las etapas terminales del vulcanismo de la región y corresponden a los conductos alimentadores de los numerosos domos riolíticos reconocidos en la comarca (Echeveste, 2005; Ruiz *et al.*, 2008; Wallier, 2009).

Por último, y con una posición estratigráfica incierta con respecto a la Ignimbrita Morada y los Diques, pero claramente posterior a la Ignimbrita "Dacítica", se han podido reconocer una Megabrecha matriz sostén con abundantes megaclastos de hasta varios metros de diámetro, que representa los depósitos de avalancha correspondientes a una etapa de destrucción del paisaje volcánico jurásico. Estos depósitos estarían indicando la presencia de una zona de alta pendiente al momento de su formación.

Finalmente, la coexistencia en una misma ignimbrita de dos tipos composicionalmente diferentes de fragmentos pumíceos, comparables con las Formaciones Chon Aike y Bajo Pobre, replantea el esquema estratigráfico tradicional reconocido para el Macizo del Deseado (De Giusto *et al.*, 1980, Panza 1982 y 1984, Panza *et al.*, 1998). Estas observaciones se suman a las realizadas por otros investigadores, donde se han descripto complejas interdigitaciones entre estas unidades en otros sectores del Macizo (Echeveste *et al.*, 2001, Guido *et al.*, 2006, Lopez 2006). Siguiendo esta línea de investigación, se coincide en agrupar a las rocas de la Formación Bajo Pobre junto con las de la Formación Chon Aike y Formación La Matilde dentro del Complejo Volcánico Bahía Laura.

2.9. Referencias

- ANDREIS, R.R., 2002. Cuenca La Golondrina (depósitos del rift pérmico y eventos magmáticos triásicos). En: Haller, M. J. (Ed). Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino: 71-82.
- ARCHANGELSKY, S., 1967. Estudio de la Formación Baqueró, Cretácico inferior de Santa Cruz, Argentina. Revista del Museo de La Plata (nueva serie). Paleontología, 5: 63-171. La Plata.
- BUSÀ, T., BELLINI, G., CLOCCHIATTI, R., ECHEVESTE, H., FERNÁNDEZ, R., PICCIRILLO, E.M., FANTAUZZI, G., 2001. Preliminary data on orthopyroxene and quartz-trapped melt inclusions from patagonia igneous province: evidence on the evolution of magmatic system. GEOITALIA, 3o Forum FIST. Sessione 28, 833-834.
- BUSÀ, T., FANTAUZZI, G., BELLINI, G., FERNÁNDEZ, R., ECHEVESTE, H., PICCIRILLO, E.M., 2003. Relationship between Bajo Pobre and Chon Aike Formations (Deseado Massif, Patagonia, Argentina): a melt inclusions study. Geophysical Research Abstracts, Vol. 5, 11094, 2003.
- BUSÀ, T., BELLINI, G., FERNÁNDEZ, R., ECHEVESTE, H., PICCIRILLO, E.M., 2004. Origin and evolution of the Deseado Massif volcanism (Patagonia, Argentina). 32nd International Geological Congress, Italy. CD-ROM.
- CORTIÑAS, J., HOMOVIC, J., LUCERO, M., GOBBO E., LAFFITTE, G., VIERA, A., 2005. Las cuencas de la región del Deseado, provincia de Santa Cruz. En: "Frontera exploratoria de la argentina". Chebli, A. G., Cortiñas J. S., Spalletti, L. A., Legarreta, L. & Vallejo E. L. (eds). 1º ed. Buenos Aires. Instituto Argentino del Petróleo y del Gas, 2005. 352 pp. p 289-305.
- DE BARRIO, R., PANZA, J.L., NULLO, F., 1999. Jurásico y Cretácico del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. In: R. Caminos (editor), Geología Argentina, anales 29 (17): 511-527. Instituto de Geología y Recursos Minerales.
- DE GIUSTO, J.M., DI PERSIA, C., PEZZI, E., 1980. Nesocratón del Deseado. En: Geología Regional Argentina, II, p. 1389-1430. Academia Nacional de Ciencias, Cordoba.
- DI PERSIA, C., 1958. Informe previo al Levantamiento Geológico en escala 1:100.000 de la zona Norte del Territorio de Santa Cruz, al sur del río Deseado. Quinta Campaña. Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires. Informe inédito.
- ECHEVESTE, H., FERNÁNDEZ, R., BELLINI, G., TESSONE, M., LLAMBÍAS, E., SCHALAMUK, I., PICCIRILLO, E., DEMIN, A., 2001. Relaciones entre las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike (Jurásico medio a superior) en el área de Estancia El Fénix-Cerro Huemul, zona centro-occidental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 56, (4): 548-558.
- ECHEVESTE, H., 2005. Metalogénesis del distrito argentoaurífero Manantial Espejo, Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz. Universidad Nacional de La Plata. Tesis Doctoral Inédita. 272 p.
- EICHELBERGER, J.C., CHERTKOFF, D.G., DREHER, S.T., NYE, C.J., 2000. Magmas in collision: Rethinking chemical zonation in silicic magmas. Geology, 28 (7): 603-606.
- FANTAUZZI, G., 2003. Magmatismo Giurassico del Macizo del Deseado (Argentina): studio petrológico e sue implicazioni geodinamiche. Dottorato di Ricerca in "Geofisica della litosfera e geodinamica" XIV ciclo. Università Degli Studi di Trieste.
- FERUGLIO, E., 1949. Descripción geológica de la Patagonia. 3 Volumes, Dirección Nacional de Yacimientos Petrolíferos Fiscales, Buenos Aires.
- GIACOSA, R., ZUBIA, M., MARTÍNEZ, H., FUENTES, J., SÁNCHEZ, M., 2008. Evolución estructural Meso-Cenozoica del Sector Oriental de la Región Del Deseado (68° 00' y 69° 30' O, 47° 00' Y 48° 30' S, Santa Cruz, Argentina). XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 837-838. Jujuy, Argentina.
- GIFKINS, C., HERRMANN, W., LARGE, R., 2005. Altered Volcanic Rocks: A guide to description and interpretation. CODES, University of Tasmania. 275pp.
- GILLESPIE, M.R., STYLES, M.T., 1999. BGS Rock Classification, Volume 1: Classification of Igneous Rocks. British Geological Survey. 52 pp.
- GONZALEZ GUILLOT, M., DE BARRIO, R., GANEM, F., 2004. Mina Martha, un Yacimiento Epitermal Argentífero en el

Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Río Cuarto.

- GONZALEZ GUILLOT, M., BIEL SORIA, C., FANLO GONZALEZ, I., SUBIAS PEREZ, I., MATEO GONZALEZ, E., 2008. Cobres grises y sulfosales de Plata del Yacimiento Epitermal de Mina Martha, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz (Argentina). Revista de la Sociedad Española de Mineralogía. Macla (9):127-128.
- GUIDO, D., 2002. Geología y metalogénesis del sector oriental del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Universidad Nacional de La Plata. Tesis Doctoral Inédita. 244 p.
- GUIDO, D., 2004a. Subdivisión litofacial e interpretación del volcanismo jurásico (Grupo Bahía Laura) en el este del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 59 (4): 727-742.
- GUIDO, D., ESCAYOLA, M., SCHALAMUK, I., 2004b. The basement of the Deseado Massif at Bahía Laura, Patagonia, Argentina: a proposal for its evolution. Journal of South American Earth Sciences 16: 567-577.
- GUIDO, D., ESCAYOLA, M., DE BARRIO, R., SCHALAMUK, I., FRANZ, G., 2006. La Formación Bajo Pobre (Jurásico) en el este del Macizo del Deseado, Patagonia Argentina: Vinculación con el Grupo Bahía Laura. Revista de la Asociación Geológica Argentina 61 (2): 187-196.
- HARRINGTON, H.J., 1962. Paleogeographic development of South America. American Association of Petroleum Geologists, Bulletin 46 (10): 1773-1814, Tulsa.
- HIBBARD, M.J., 1995. Petrography to Petrogenesis. Prentice Hall. 587 pp.
- HOMOVC, J., CONSTANTINI, L. 2001. Hydrocarbon exploration potential within interplate shearrelated depocenters: Deseado and San Julián basins, southern Argentina. American Association of Petroleum Geologist, Bulletin, 85 (10): 1795-1816.
- IRVINE, T.N., BARAGAR, W.R.A., 1971. A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks. Canadian Journal of Earth Sciences (8): 523-548.
- IUGS, 2010. International Stratigraphic Chart 2010. International Commission on Stratigraphy (IUGS). Disponible en: <http://www.stratigraphy.org/>
- JOVIC, S.M., 2009. Geología y metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (Cerro León), Sector Central del Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Universidad Nacional de La Plata. Tesis Doctoral Inédita. 266 p.
- LEANZA, A., 1958. Geología Regional. En: La Argentina, Suma de Geografía, Tomo I, Capítulo III: 217-349, Editorial Peuser, Buenos Aires.
- LE BAS, M.J., LE MAITRE, R.W., STRECKEISEN, A., ZANETTIN, B., 1986. A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. Journal of Petrology, Vol 27: 745-750.
- LÓPEZ, R., 2006. Estudio Geológico-Metalogenético del area oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Universidad Nacional de La Plata. Tesis Doctoral Inédita. 226 p.
- MANIAR, P., PICCOLI, C., 1989. Tectonic discrimination of granitoids. Geology Society of American, Bulletin (101): 635-643.
- MCARTHUR, A.N., CAS, R.A.F., ORTON, G.J., 1998. Distribution and significance of crystalline, perlitic and vesicular textures in the Ordovician Garth Tuff (Wales). Bulletin of Volcanology (60): 260-285.
- MCPHIE, J., DOYLE, M. Y ALLEN, R., 1993. Volcanic Textures: a guide to the interpretation of textures in volcanic rocks. CODES, University of Tasmania. 198 pp.
- MOREIRA, P., GONZÁLEZ, P. D., FERNANDEZ, R., ECHEVESTE, H., SCHALAMUK, I., ETCHEVERRY, R., 2005. El basamento metamórfico de muy bajo a bajo grado de las estancias La Modesta y La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Revista de la Asociación Geológica Argentina, 60 (1):49-63.
- NÉMETH, K., MARTIN, U., 2007. Practical Volcanology. Occasional Papers of the Geological Institute of Hungary, Volume 207. 221 pp.
- PÁEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 895-896. Jujuy, Argentina. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.

- PÁEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M., JOVIC, S.M., SCHALAMUK, I.B., 2010. The effects of K-metasomatism in the Bahía Laura Volcanic Complex, Deseado Massif, Argentina: Petrologic and metallogenic consequences. *Chemical Geology* 273 (3-4): 300-313.
- PANKHURST, R., RAPELA, C., MARQUEZ, M., 1993. Geocronología y petrogénesis de los granitoides jurásicos del noreste del Macizo del Deseado. XII Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 134-141.
- PANKHURST, R.S., RAPELA, C.W., 1995. Production of Jurassic rhyolite by anatexis of the lower crust of Patagonia. *Earth and planetary Science Letters* 134: 23-36.
- PANKHURST, R., LEAT, P., SRUOGA, P., RAPELA, C., MÁRQUEZ, M., STOREY, B., RILEY, T., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.
- PANKHURST, R., RILEY, T., FANNING, C., KELLEY, S., 2000. Episodic Silicic Volcanism in Patagonia and the Antarctic Peninsula: Chronology of magmatism associated with the Break-up of Gondwana. *Journal of Petrology*, Volume 41, Nº5: 605-625.
- PANKHURST, R., RAPELA, C., LOSKE, W., MARQUEZ, M., FANNING, C., 2003. Chronological study of the pre-Jurassic basement rocks of Southern Patagonia. *Journal of South American Earth Sciences* 16: 27-44.
- PANZA, J.L., 1982. Descripción geológica de las Hojas 53e, "Gobernador Moyano" y 54c, "Cerro Vanguardia", Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, 197p. (inédito)
- PANZA, J.L., 1984. Descripción geológica de las Hojas 54f, "Bajo de La Leona" y 54g, "Bahía Laura", Provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Nacional, 187p. (inédito)
- PANZA, J., MARÍN G., ZUBIA M., 1998. Hoja Geológica 4969-I, Gobernador Gregores, escala 1:250.000, provincia de Santa Cruz. Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 239: 104 pp.
- PANZA, J.L., HALLER, M.J., 2002. El volcanismo jurásico. In: Haller, M.J. (Ed). *Geología y recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino*: 89-102.
- PECCERILLO, R., TAYLOR, S.R., 1976. Geochemistry of Eocene calc-alkaline from the Kastamonu area, Northern Turkey. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (58):63-81.
- REUBI, O., HERNÁNDEZ, J., 2000. Volcanic debris avalanche deposits of the upper Maronne valley (Cantal Volcano, France): evidence for contrasted formation and transport mechanisms. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (102): 271-286.
- RUIZ, R., PÁEZ, G.N., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., 2008a. Ambiente Volcánico y Mineralizaciones del Área Cerro 1ro de Abril, Sector Sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 897-898. Jujuy, Argentina.
- RUIZ, R., PAEZ, G.N., GUIDO, D.M., SCHALAMUK, I.B., 2008b. Extensas Manifestaciones de Hot Spring Asociadas al Centro Volcánico Jurásico del Área Cerro 1ro de Abril, Sector Sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 895-896. Jujuy, Argentina.
- SCHNEIDER, J.L., FISHER, R.V., 1998. Transport and emplacement mechanisms of large volcanic debris avalanches: evidence from the northwest sector of Cantal Volcano (France). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (83): 141-165.
- SUMMERS, J. M., WOLFF, J., 2003. Petrogenesis of mixed-magma, high-grade, peralkaline ignimbrite "TL" (Gran Canaria): diverse styles of mixing in a replenished, zoned magma chamber. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* (126): 109-126.
- SUN, S., MCDONOUGH, W.F., 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle compositions and processes. En: Saunders, A. D. & Norry, M. J. (editores). *Magmatism in the ocean basins*. Geological Society. London. 313-345.
- TROLL, V.R., DONALDSON, C.H., EMELEUS, C.H., 2004. Pre-eruptive magma mixing in ash-flow deposits of the Tertiary Rum Igneous Centre, Scotland. *Contributions to Mineralogy and Petrology* (147): 722-739.
- WALLIER, S., 2009. The geology and evolution of the Manantial Espejo epithermal silver (+gold) deposit, Deseado Massif, Argentina. Tesis Doctoral de la University of British

Columbia, Vancouver. 303p. Inédito. Disponible en:
<http://circle.ubc.ca/handle/2429/17439>.

- WILSON, M., 1989: Igneous petrogenesis: A global tectonic approach. Unwin Hyman. Londres. 466 p.
- WINCHESTER, J.A., FLOYD, P.A., 1977. Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. Chemical Geology (20): 325-343.

Capítulo 3:

Caracterización de la mineralización argentífera del depósito Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina.

3.1. Introducción

Los depósitos epitermales se asocian a ambientes magmático/hidrotermales someros dominados mayormente por vulcanismo y el desarrollo de fallas extensionales (Sillitoe y Hedenquist, 2003; Simmons *et al.*, 2005). Estos depósitos se originan por la precipitación de minerales a partir de soluciones acuosas con temperaturas generalmente inferiores a los 300°C, que circulan a profundidades no mayores a los 1,5 km por debajo de la superficie (Hedenquist *et al.* 2000).

Si bien este tipo de depósitos se caracterizan tanto por sus contenidos en metales preciosos y base, durante los últimos años han sido buscados y explotados mayoritariamente por sus contenidos en oro y plata, aportando aproximadamente el 6% de la producción mundial de Au y alrededor del 16% de la producción de Ag (Simmons *et al.*, 2005).

La provincia geológica del Macizo del Deseado se caracteriza por la presencia de numerosas manifestaciones epitermales, la cuales han sido motivo de numerosos estudios de tesis (e.g., Echavarría, 1997; Guido, 2002; Echeveste, 2005; Moreira, 2005; Lopez, 2006; Gutierrez, 2006; Mykietiuik, 2006; Wallier, 2009; Jovic, 2009).

En este capítulo se describe y caracteriza el sistema de vetas epitermales presente en el yacimiento Mina Martha, ubicado a unos 50 Km al NE de la localidad de Gobernador Gregores (Figura 3.1). Se analiza la distribución de los cuerpos mineralizados, su signatura geoquímica, texturas, mineralogía, alteraciones hidrotermales, microtermometría, valores isotópicos y geocronológicos, con el objetivo de realizar una caracterización de los fluidos que dieron origen a la mineralización argentífera presente en el área.

3.2. La Provincia Auroargentífera del Deseado

El Macizo del Deseado (Figura 3.1) está caracterizado por la presencia de abundantes mineralizaciones epitermales de baja sulfuración, lo que llevó a Schalamuk *et al.* (1999) a definir una entidad metalogénica, la Provincia Auroargentífera del Deseado.

A partir del descubrimiento de oro en el inicio de los 80' en las vetas de cuarzo del área del Cerro Vanguardia, se desarrolló una intensa actividad prospectiva que ha dado como resultado el descubrimiento de varios distritos vetiformes con presencia de metales preciosos (Schalamuk *et al.*, 2002). Actualmente, esta provincia, es una importante productora de Au-Ag con cuatro minas activas (Cerro Vanguardia, Martha, San José y Manantial Espejo) y es objeto de intensa exploración con más de 50 proyectos en distinto grado de desarrollo.

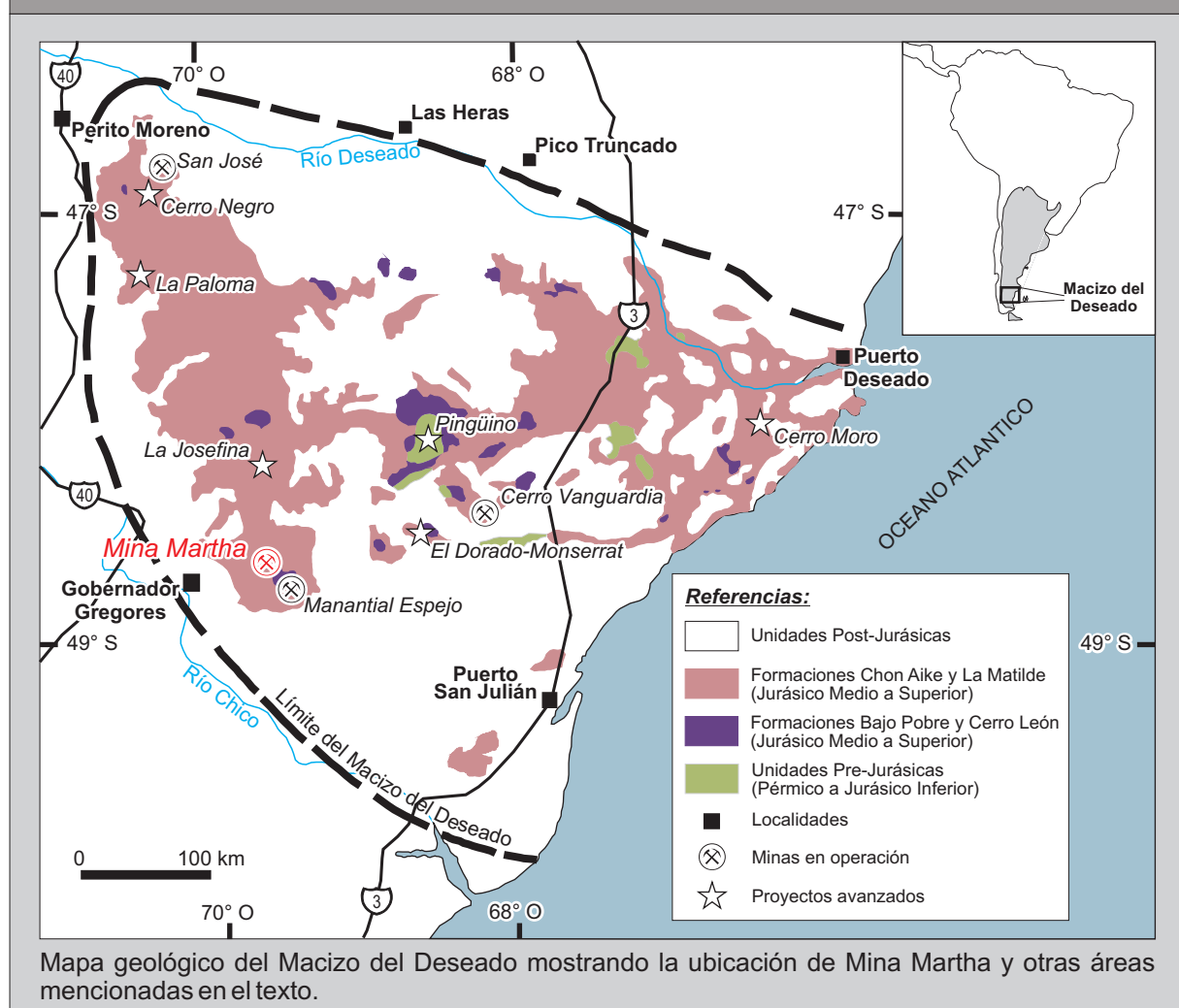
La mayoría de las ocurrencias de Au-Ag de la región se corresponden con depósitos de tipo epitermal de baja sulfuración (Guido y Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008), sin embargo, durante los últimos años también se han identificado depósitos epitermales de sulfuración intermedia y polimetálicos (e.g. Gonzalez Guillot *et al.*, 2004; Jovic, 2009). La mayoría de estas

manifestaciones están formadas por vetas, vetillas, stockworks y brechas de cuarzo y calcedonia con un importante control estructural de rumbo predominante NO y en menor medida NE y E-O. Composicionalmente presentan minerales de ganga como sílice (principalmente cuarzo, y en menor medida calcedonia) acompañado, en ocasiones, por calcita, adularia, baritina, fluorita y zeolitas. Las texturas de cuarzo son en general masivas, brechosas, bandeados crustiformes, coloformes, cocardas, texturas en peine y reemplazos. Los minerales metalíferos se encuentran en menos del 1% en volumen y están representados por pirita, Au nativo, electrum, argentita, Ag nativa, sulfosales de Ag, hematita, esfalerita, galena y calcopirita (Guido y Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.* 2005; Fernández *et al.*, 2008).

La alteración hidrotermal está restringida en proximidades de las vetas y está representada por silicificación, argilización, sericitización y propilitización en menor medida. La signatura geoquímica de las vetas se caracteriza por presentar anomalías en metales preciosos (Au-Ag) y ocasionales contenidos anómalos de As, Sb, Hg, Mo, Pb, Zn, Mn y Cu, en tanto que la relación Ag:Au es en promedio de 9:1 (Schalamuk *et al.*, 2002; Ruiz y Guido, 2006).

De acuerdo a Guido y Schalamuk (2003), Schalamuk *et al.* (2005) y Jovic (2009) los fluidos hidrotermales están caracterizados por soluciones H₂O-NaCl neutrales a algo alcalinas con salinidades que varían entre 0,18 y 8 % NaCl eq. El rango de temperaturas de homogenización del cuarzo y la adularia va desde <100° a 320° C y los valores $\delta^{18}\text{O}$ fluidos del cuarzo entre -6,4 y +5 ‰ lo que sugiere una importante participación de aguas meteóricas en las soluciones hidrotermales, mientras que los valores

Figura 3.1. Mapa de ubicación



de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ varían entre -6,4 y +5 ‰ indicando una fuente magmática para el azufre.

Por último, las mineralizaciones presentan una edad Jurásico Superior y están relacionadas a los últimos estadios del vulcanismo bimodal, en donde se encuentra generalmente hospedada, principalmente en ignimbritas, lavas riolíticas y andesitas (Guido y Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.* 2005; Fernández *et al.*, 2008).

3.3. Metodología

3.3.1. Trabajos de campo y gabinete

Los trabajos de gabinete realizados previamente a las tareas de campo comprendieron esencialmente la compilación y análisis de la información (mapas e imágenes satelitales) proporcionada por Coeur Argentina (propietaria del yacimiento) y la preparación del material necesario para llevar adelante el mapeo (ver Capítulo 2.2).

Los trabajos de campo comprendieron el relevamiento del área mineralizada a escala 1:5.000. Los datos tomados (rumbo y buzamiento, geometría de los cuerpos, tipo de estructura, textura y estructura del relleno, etc.) fueron graficados en los planteos mediante el empleo de un GPS Garmin e-Trex y luego volcados a la base de datos GIS.

Durante los trabajos de campo se describieron y muestrearon un total de 24 perforaciones realizadas con diamantina en distintos sectores del yacimiento, tratando de observar las mayores variaciones en leyes, texturas y alteraciones presentes en el yacimiento. También se tuvo acceso a las labores de explotación subterráneas dentro del yacimiento, donde se realizaron mapeos (1:500), descripciones y muestreos de los tramos accesibles de los principales cuerpos mineralizados y sus rocas de caja.

Finalmente, durante el transcurso de los trabajos de campo también se llevaron a cabo muestreos específicos orientados a caracterizar en el laboratorio los diferentes estilos de la mineralización, ya sea estudios petrográficos, mineralógicos, de inclusiones fluidas, isótopos estables y geocronología.

3.3.2. Análisis de Laboratorio

Los estudios petro y calcográficos fueron realizados en el laboratorio de microscopía del Instituto de Recursos Minerales (INREMI), de la Universidad Nacional de La Plata. Para ello se utilizó un microscopio *Nikon Optipho-Pol* equipado con una cámara digital *Nikon Coolpix P5100*.

Los análisis de rayos-X (DRX) fueron realizados en un difractómetro *Philips X'Pert PRO* modelo 2009 con ánodo de Cu, perteneciente al Centro de Investigaciones Geológicas (CIG) de la Universidad Nacional de La Plata. Para la estimación de las concentraciones minerales se utilizaron los poderes reflectantes de Schultz (1964) y Biscaye (1965). La difracción de rayos X tiene un límite de detección aproximado del 5% y no detecta las fases amorfas.

Como herramienta para la identificación mineralógica también se empleó un espectrómetro de reflectancia *ASD FieldSpec Pro™* (www.asdi.com) perteneciente a la compañía minera Mauricio Hochschild Argentina S.A. Este espectrómetro emplea la región del infrarrojo de onda corta (SWIR) del espectro electromagnético (entre los 350 nm y 2500 nm), para reconocer minerales de alteración y sus

variaciones en composición, cristalinidad, etc. (e.g., [Herrmann et al., 2001](#); [Rodríguez et al., 2010](#); [Kerr et al., 2011](#)).

La composición química de los minerales fue determinada mediante el uso de una microsonda electrónica *CAMECA SX-50* perteneciente al Servicio Científico Técnico de la Universidad de Barcelona. Para el análisis se utilizó un potencial de aceleración de 20 kV, y una corriente de 20 nA. Los resultados fueron procesados según los factores de corrección de [Pouchou y Pichoir \(1985\)](#). Estos análisis fueron realizados por Natxo Subías, Blanca Baluz e Isabel Fanlo (Grupo de Mineralogía de la Universidad de Zaragoza), y cedidos generosamente para la realización del presente trabajo de tesis.

Los estudios de inclusiones fluidas fueron realizados en Laboratorio de Inclusiones Fluidas y Metalogénesis (LIFM) del Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN), ubicado en la ciudad de Belo Horizonte, Brasil. Para la caracterización microscópica y microtermometría de las inclusiones fluidas presentes tanto en minerales transparentes (cuarzo y adularia) como opacos (pirargirita), se utilizó una platina de calentamiento/enfriamiento *Linkam FTIR-600* montada sobre un microscopio *Leica DMR-XP* modificado por los investigadores del LIFM-CDTN ([Ríos et al., 2006](#)) para poder trabajar con el espectro visible, el espectro infrarrojo cercano (hasta 10 μm , NIR), y el espectro infrarrojo de onda corta (hasta 1,4 μm , SWIR). Todos los ensayos fueron registrados en videos y fotografiados utilizando un sistema de imágenes *QImaging* modelo *QICAM-IR* conectado a una PC con el software *Linkam Linksys 32*. Durante los ensayos microtermométricos, las temperaturas de congelamiento (T_f) fueron medidas en primer lugar, luego la temperatura del eutéctico (T_e), la temperatura final del derretimiento del hielo ($T_{m(\text{ice})}$) y finalmente la temperatura de homogenización (T_h). Por último, la salinidad fue calculada a partir de los valores de $T_{m(\text{ice})}$ según los valores propuestos por [Bodnar y Vityk \(1994\)](#).

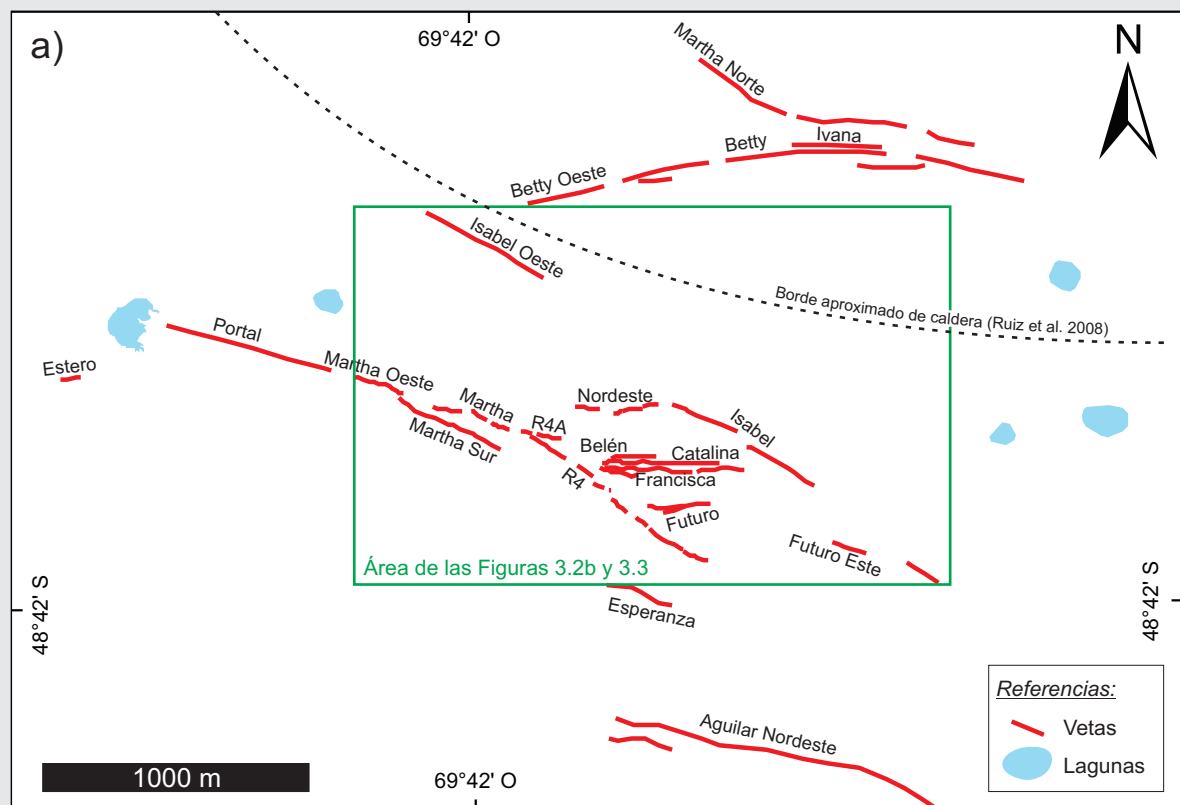
Los análisis de isótopos estables de oxígeno ($^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$) y de azufre ($\delta^{34}\text{S}$) fueron realizados en el Laboratorio de Isótopos Estables de la Universidad de Salamanca, España. La extracción del oxígeno y carga de la muestra se efectuaron siguiendo los principios de [Clayton y Mayeda \(1963\)](#) y [Friedman y Gleason \(1973\)](#). Los resultados que se obtuvieron se dan en la notación delta, habitualmente referidos a SMOW. El valor obtenido para el estándar NBS-28 en el laboratorio citado es $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} = +9,6\text{‰}$. La técnica empleada para el azufre es similar a la descrita por [Robinson y Kusakabe \(1975\)](#). Los resultados obtenidos se dan referidos a CDT. El valor obtenido para el estándar NBS-123 en el laboratorio citado es $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}} = 17,0\text{‰}$.

Por último, las determinaciones geocronológicas por el método $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ fueron realizadas en el Laboratorio de Geocronología perteneciente al Servicio Nacional de Geología y Minería de Chile (SERNAGEOMIN), ubicado en la ciudad de Santiago de Chile. Los análisis fueron realizados utilizando un espectrómetro *MAP 215-50* modificado, equipado con un sistema láser de CO_2 mediante un análisis de fusión por etapas (*step-heating*) sobre cristales de adularia provenientes de la mineralización.

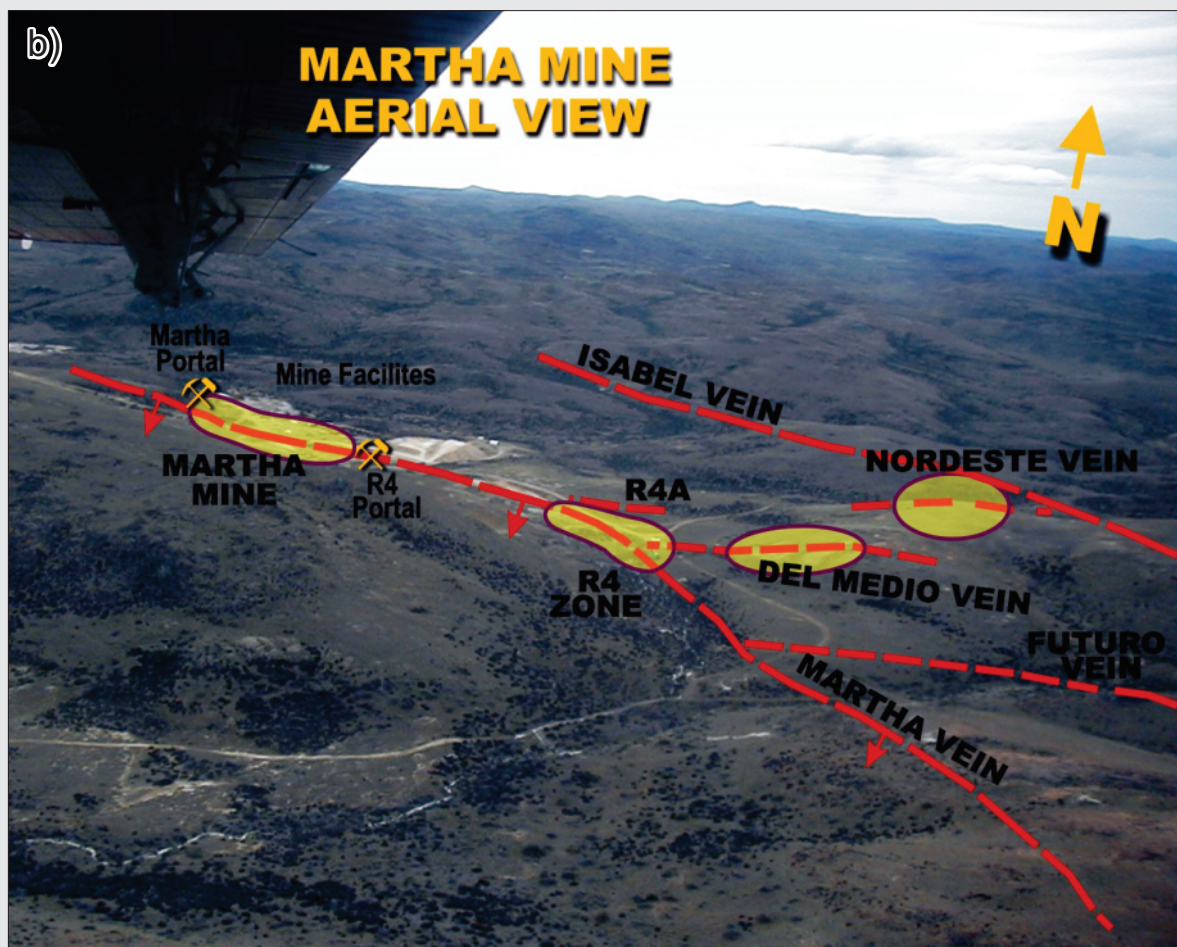
3.4. El sistema de vetas de Mina Martha

3.4.1. Distribución y caracterización de los cuerpos mineralizados

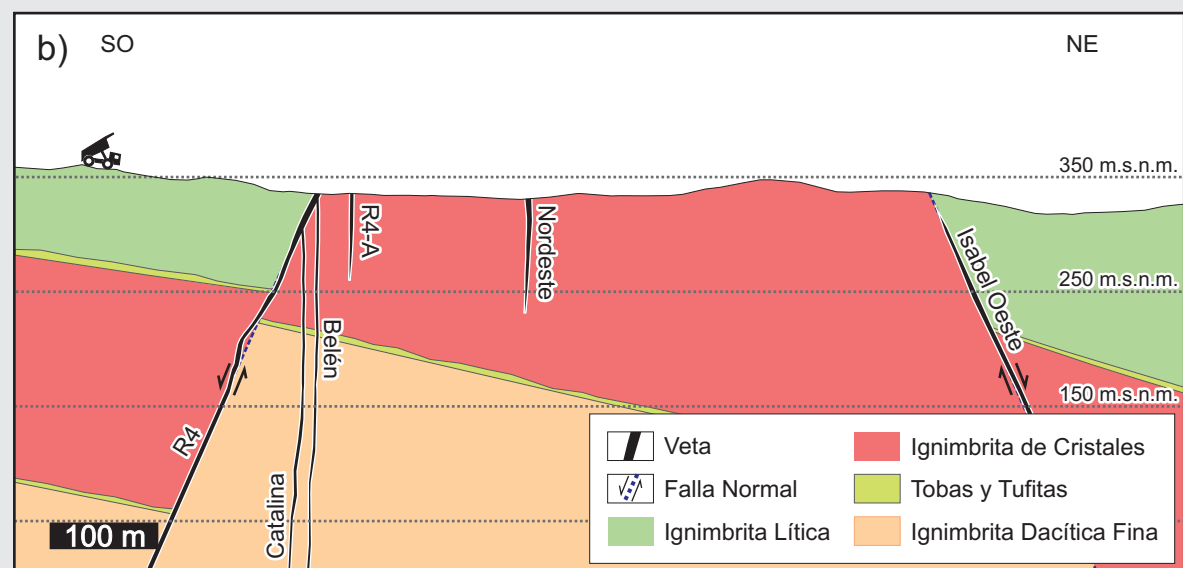
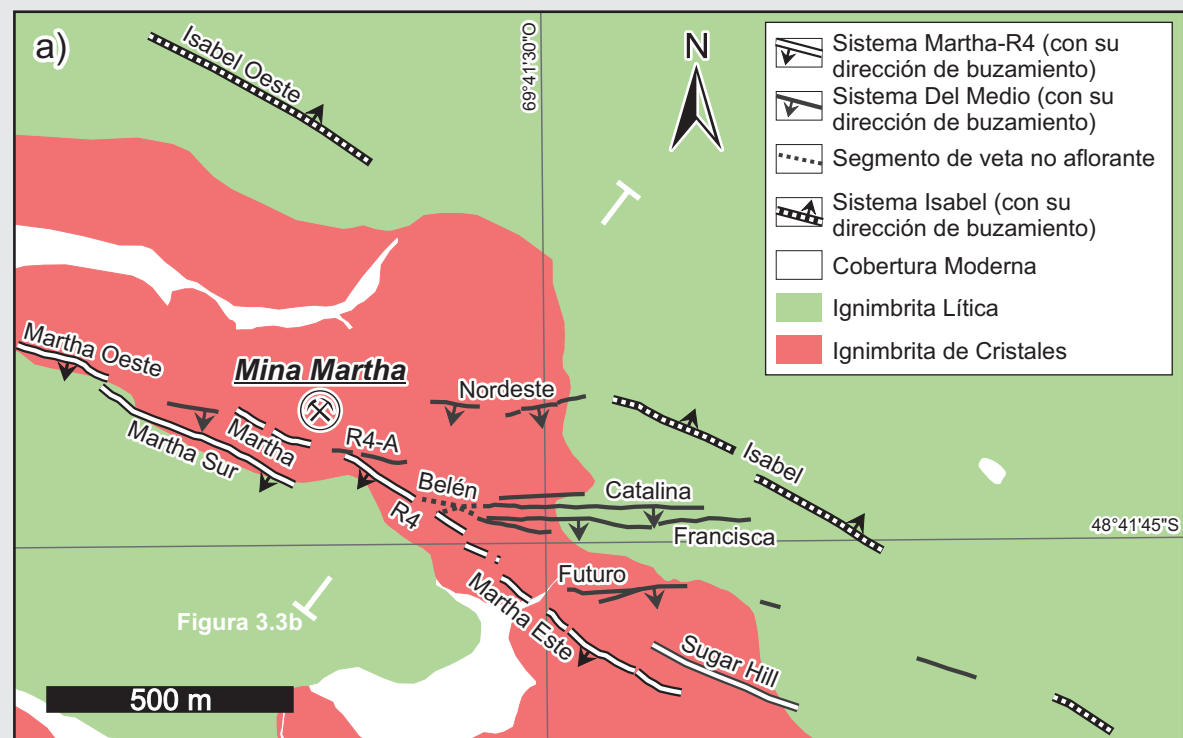
El área de estudio se caracteriza por la presencia de más de 20 cuerpos vetiformes, que totalizan unos

Figura 3.2. Distribución de las vetas

Mapa mostrando la distribución de las vetas en los alrededores de Mina Martha.



Vista aérea de Mina Martha hacia el NO, año 2005 (Foto cortesía de Coeur Argentina).

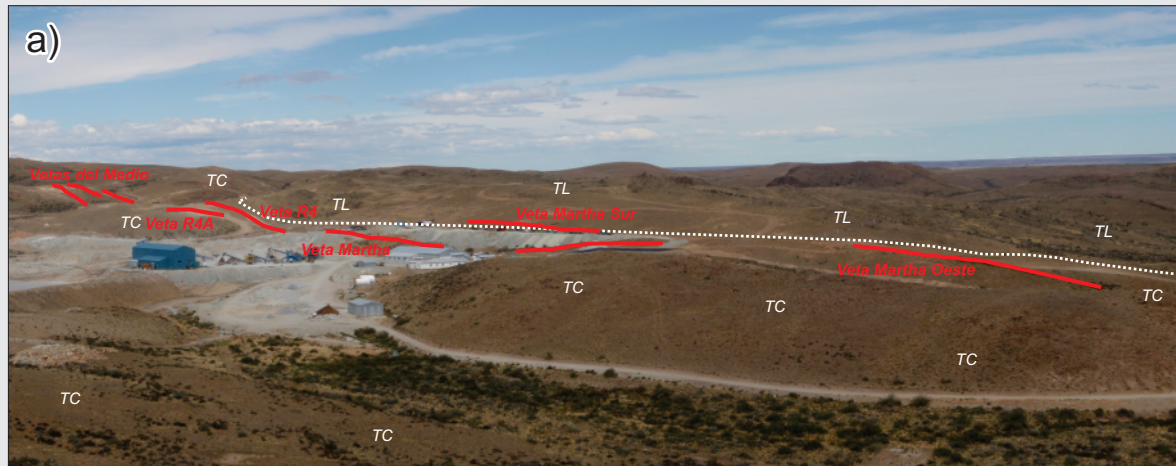
Figura 3.3. Geología del yacimiento

Mapa y perfil geológicos correspondientes a la parte central del yacimiento Mina Martha. Ver figuras 2.4 y 3.2 para la ubicación general en el depósito.

~10 km lineales de estructuras aflorantes ubicadas principalmente a lo largo de la parte centro-oeste de la zona de estudio (Figuras 2.4 y 3.2a). Los mismos se alojan en ignimbritas y sedimentos piroclásticos retrabajados (tufitas) pertenecientes al Complejo Volcánico Bahía Laura (Figura 3.3 y Capítulo 2).

Las vetas presentes en las inmediaciones de la mina pueden ser divididas en tres sistemas de acuerdo a su orientación general (Figura 3.2b y 3.3 y Capítulo 4): un sistema de orientación NO-SE compuesto por las vetas Martha, R4, Martha Oeste, Martha Este y Martha Sur que ha sido denominado como Sistema Martha-R4; un sistema de orientación general E-O conformado por las vetas Belén, Francisca, Catalina, Nordeste, R4A y Futuro, que fueron agrupadas bajo la denominación de Sistema del Medio; y un tercer sistema de orientación general NO-SE conformado por las vetas Isabel e Isabel Oeste y que ha sido denominado Sistema Isabel.

Figura 3.4. Aspecto general de las mineralizaciones



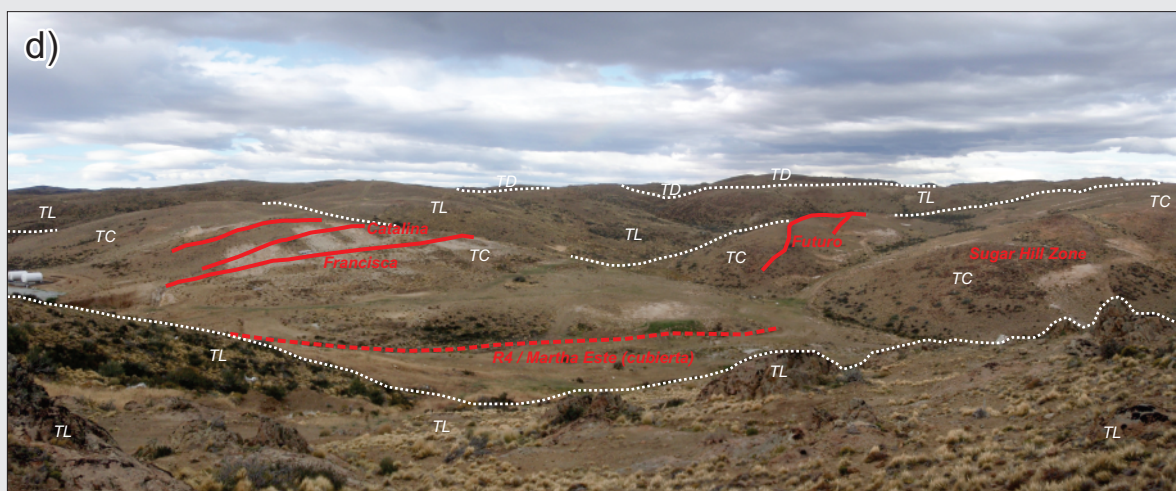
Vista general del yacimiento en el año 2009. La fotografía está tomada hacia el SE desde las proximidades del acceso a la Mina, y muestra las relaciones entre las vetas que componen el Sistema Martha-R4 (TC: Ignimbrita de Cristales; TL: Ignimbrita Lítica).



Vista de los afloramientos de la Veta Martha en el año 2001 (antes del inicio de las actividades extractivas). Vista mirando hacia el SE (Foto cortesía de Coeur Argentina).



Vista de los afloramientos de la Veta R4 en superficie en el año 2001 (antes del inicio de las actividades extractivas). Vista mirando hacia el SE (Foto cortesía de Coeur Argentina).



Vista general del Sistema del Medio en superficie en el año 2009. Se puede apreciar la distribución general de las vetas y sus rocas de caja (TC: Ignimbrita de Cristales; TL: Ignimbrita Lítica; TD: Ignimbrita Dacítica).

El Sistema Martha-R4 (Figura 3.3a y 3.4a) se caracteriza por una orientación general NO-SE e inclinación hacia el SO (Figura 3.3b), está compuesto por una única estructura dividida informalmente en varios segmentos donde los más importantes corresponden a las Vetas Martha y R4 (Figura 3.4b y 3.4c). Las estructuras de este sistema están compuestas por una red anastomosada de vetas y vetillas que se bifurcan y unen conformando una estructura continua con un espesor medio de 1,5 m y un máximo de hasta 5 metros.

El Sistema del Medio está compuesto por varias estructuras subparalelas de rumbo general E-O e inclinación con alto ángulo hacia el S (Figura 3.3 y 3.4d), que desarrollan espesores medios de entre 0,5 y 1 m, y que pueden alcanzar máximos de hasta 2,5 m. Las estructuras principales están caracterizadas por vetas continuas con geometrías tabulares, que por sectores desarrollan ramificaciones oblicuas de menor espesor que las interconectan.

Por último, el Sistema Isabel está conformado por dos segmentos que forman una única estructura de orientación general NO-SE e inclinación hacia el NE (Figura 3.3). Los afloramientos de esta estructura son bastante pobres, estando en su mayor parte cubierta por sedimentos aluviales modernos.

Las estructuras mineralizadas de los tres sistemas presentan marcadas similitudes en cuanto a su mineralogía y texturas, estando representadas en todos los casos por cuerpos vetiformes tabulares a los que se asocia una red de vetillas con arreglo anastomosado que parten del cuerpo principal de la veta y que se caracterizan por un desarrollo variable, en general elevado en el Sistema Martha-R4, a casi ausente en el Sistema del Medio.

El relleno hidrotermal se caracteriza por múltiples episodios de apertura y relleno, donde dominan las texturas brechosas y en menor medida los bandeados crustiformes. La ganga se caracteriza por una elevada proporción de adularia asociada al cuarzo, la adularia puede formar hasta el 95% del volumen de las vetas. Los minerales de mena corresponden a sulfuros y sulfosales de plata y metales base, que comúnmente superan el 15 % del volumen de las estructuras. Por último, en superficie las vetas forman crestones de roca silicificada y oxidada (Figura 3.4b y c) en donde se pueden reconocer vetas y vetillas de adularia y cuarzo con cantidades menores de limonitas, minerales secundarios de cobre y platas córneas.

3.4.2. Geoquímica de las vetas

La mineralización del sistema de vetas en Mina Martha se caracteriza por una signatura geoquímica dominada por valores muy elevados de Ag, que promedian los 3500 ppm, pero que localmente pueden superar los 45.000 ppm (Figura 3.5). Asociados a los valores de Ag, se observan tenores elevados de Au, con promedios de 5 ppm y máximos de hasta 170 ppm. Los metales preciosos son acompañados por valores también altos de metales base junto con As y Sb (Figura 3.5). Por último también se registran algunas anomalías menores en Hg, Bi y Cd.

Dentro de los cuerpos mineralizados, los contenidos de metales preciosos definen relaciones Ag/Au que promedian los 900-1.000, pero que pueden elevarse hasta superar los 40.000 (Figura 3.5). La relación entre metales preciosos y metales base permite clasificar al depósito de Mina Martha como un depósito netamente argentífero con una tendencia hacia los depósitos de tipo Ag-Zn-Pb (Figura 3.5; [Albinson et al., 2001](#)).

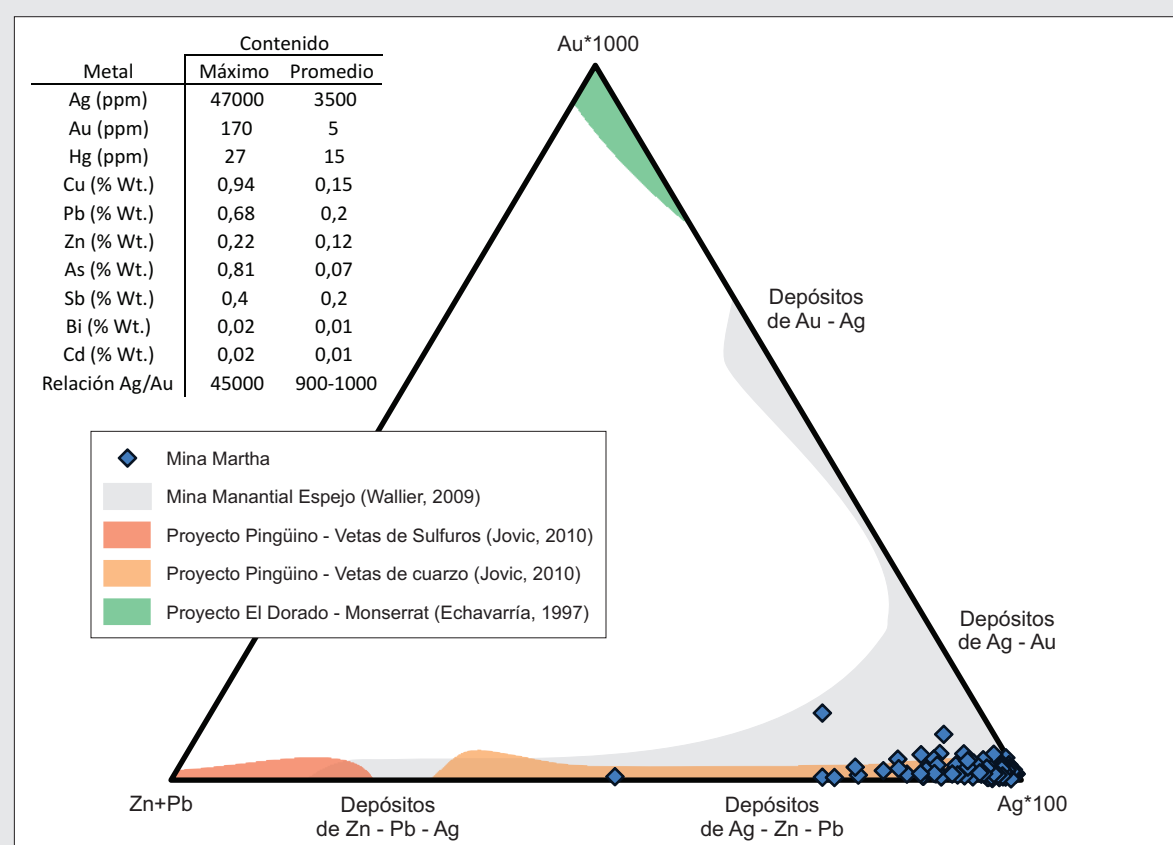
Figura 3.5. Geoquímica del sistema de vetas

Tabla mostrando los contenidos promedio y máximo de metales observados en las vetas. El diagrama triangular muestra la signatura geoquímica de Mina Martha comparada con otros depósitos del Macizo del Deseado (Diagrama triangular basado en [Albinson et al., 2001](#))

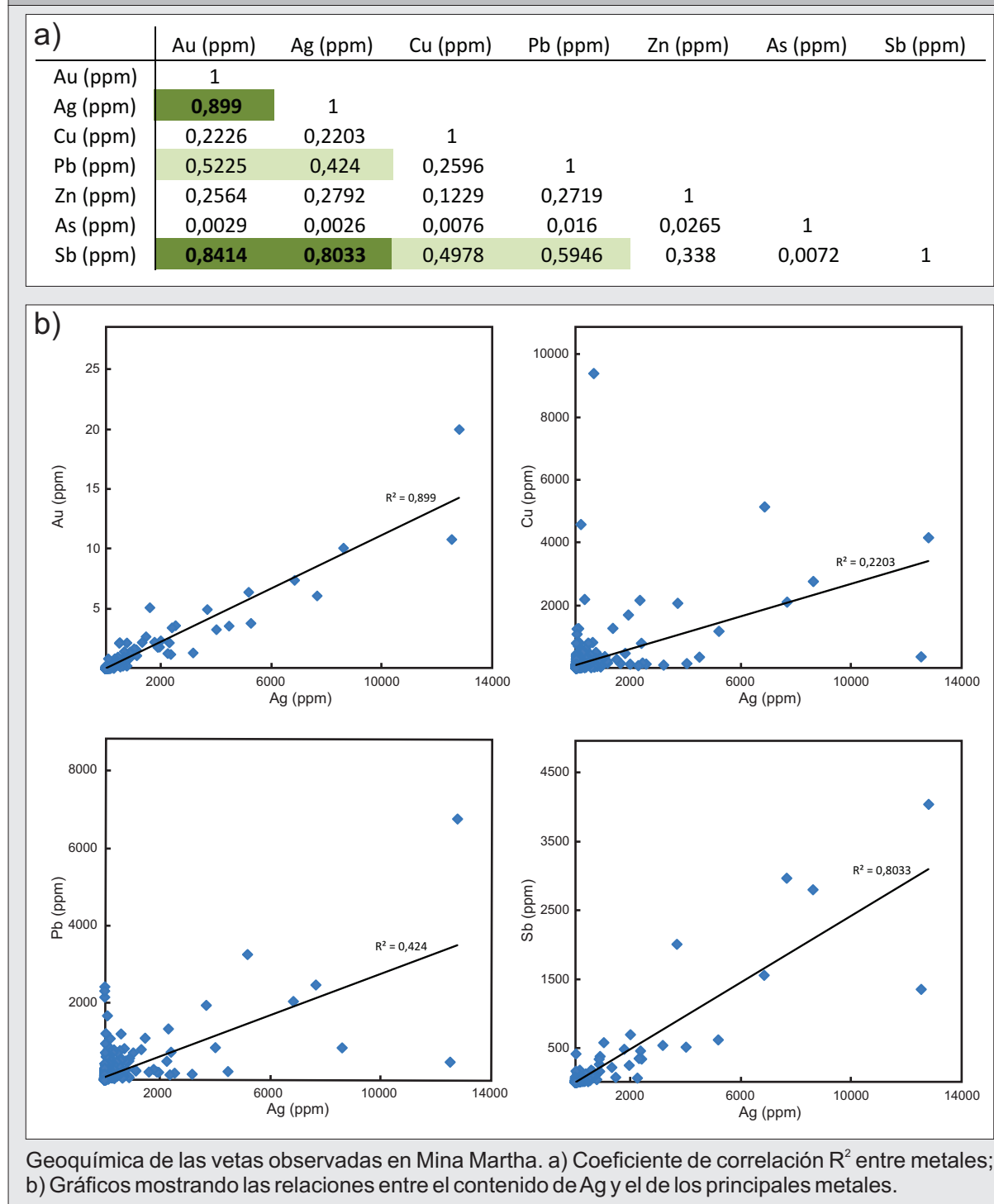
Finalmente, del análisis de la distribución y correlación entre los contenidos de Ag, Au, Cu, Pb, Zn, As y Sb de un total de 1.553 muestras provenientes de testigos corona (Figura 3.6), se puede concluir que existe una marcada correlación entre Ag-Au, Ag-Sb, Au-Sb, y correlaciones moderadas entre Ag-Pb, Ag-Cu y Au-Pb (Figura 3.6).

3.5. Esquema de pulsos mineralizantes

Como resultado del estudio de los testigos corona, afloramientos e interior mina, sumado al análisis de 17 secciones delgadas y 29 probetas pulidas de la mineralización, se elaboró un esquema paragenético compuesto de nueve pulsos mineralizantes para el sistema de vetas presentes en Mina Martha (Figuras 3.7, 3.8 y 3.9). Para la descripción de las texturas de los sulfuros y las sulfosales se siguieron las recomendaciones de [Ramdhor \(1980\)](#), [Ineson \(1989\)](#) y [Bortnikov et al. \(1991\)](#). Finalmente, para las texturas del cuarzo y la adularia se siguieron las propuestas de [Dong y Morrison \(1995\)](#) y [Dong et al. \(1995\)](#).

3.5.1. Mineralogía primaria

Para simplificar la descripción de los 9 pulsos identificados en la paragénesis hipogénica del yacimiento, se realizó una agrupación de los mismos en 4 episodios mineralizantes definidos en función

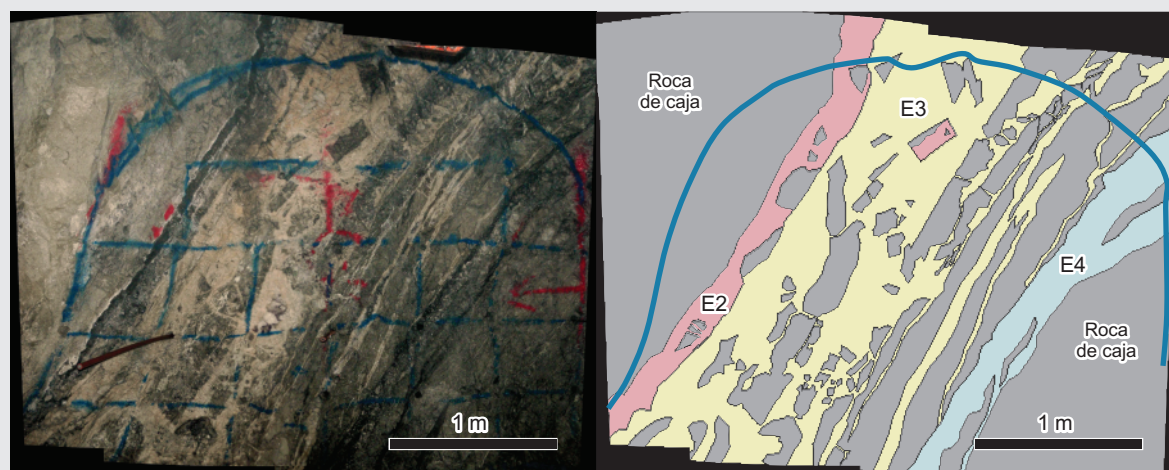
Figura 3.6. Geoquímica del sistema de vetas

de la presencia o ausencia de minerales de mena.

El primero de ellos (E1) se compone por una red de finas vetillas estériles de cuarzo con salbandas de adularia, es de naturaleza pre-mineral y se encuentra poco representado en el yacimiento (Figuras 3.8 y 3.9).

El segundo episodio (E2) es el responsable de las altas leyes presentes en los sistemas de vetas Martha-R4 y Del Medio. Está compuesto por 4 pulsos que muestran un contenido progresivamente menor de sulfuros y sulfosales, que es acompañado por contenido progresivamente mayor de adularia y cuarzo con cantidades subordinadas de sericita (Figuras 3.7, 3.8 y 3.9). Las texturas típicas de este episodio corresponden a brechas, aunque también pueden observarse algunos sectores con bandeados

Figura 3.7. Pulsos y episodios mineralizantes



Fotografía y esquema mostrando la distribución y espesores típicos de los episodios mineralizantes E2 a E4. Vista al NO en un frente de avance para la explotación de la veta R4 (nivel 165).

crustiformes. En general este episodio presenta una distribución variable, representando entre el 0 y el 40% del volumen de las vetas, y espesores promedios entre 10 y 30 cm (Figura 3.7).

El tercer episodio (E3) consiste en 2 pulsos estériles caracterizados por abundante adularia masiva y cuarzo en menores proporciones (Figuras 3.7, 3.8 y 3.9). Estos pulsos poseen texturas típicamente masivas y en menor medida brechosas, y son de amplia distribución en todas las estructuras mineralizadas del yacimiento, llegando en algunos casos a constituir el 95% de las vetas, con espesores que van desde 30 cm a casi 5 m (Figura 3.7).

Por último, el cuarto episodio (E4) está caracterizado por dos pulsos tardíos dentro del esquema paragenético (Figuras 3.7, 3.8 y 3.9). Se trata de brechas tectónicas a las que se asocian finas vetillas de sulfosales de plata que localmente pueden constituir una red densa. Este episodio tiene una amplia distribución en el Sistema Martha-R4, y en menor medida en el Sistema Isabel, sin embargo se encuentra ausente en el Sistema del Medio. Si bien se trata de un evento tardío, puede ser localmente muy importante ya que contribuye a incrementar significativamente la ley de la mineralización. En general este episodio puede representar hasta el 50% del volumen de las vetas, mostrando espesores promedios entre 40 cm y 1,5 m (Figura 3.7).

A continuación se presenta una descripción detallada de la mineralogía y texturas reconocidas en cada uno de los pulsos mineralizantes identificados en las estructuras analizadas.

Episodio 1:

- ***Pulso 1:*** Se trata de un conjunto de finas vetillas de cuarzo sacaroide con salbandas de adularia del tipo subrómico (hasta 2 mm), que no superan los 0,5 cm de ancho (Figura 3.9a) y en general no presentan ningún sulfuro asociado (Figura 3.8). Este pulso presenta una escasa representación dentro del yacimiento.

Episodio 2:

- ***Pulso 2:*** Este pulso está compuesto completamente por sulfuros (Figura 3.8), que se presentan con aspecto masivo, brechoso o bien formando parte de un bandeado crustiforme junto con los pulsos 3 y

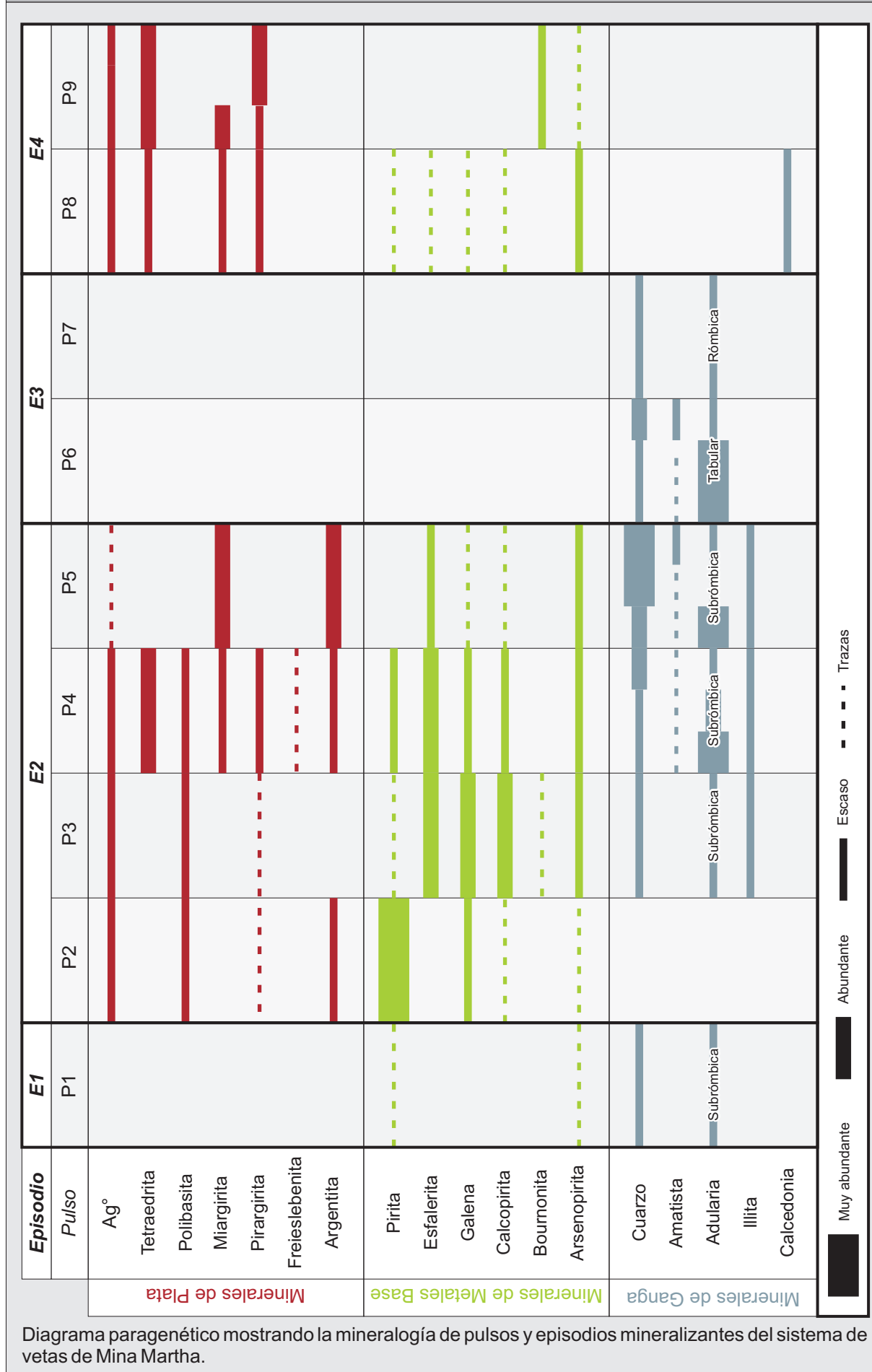
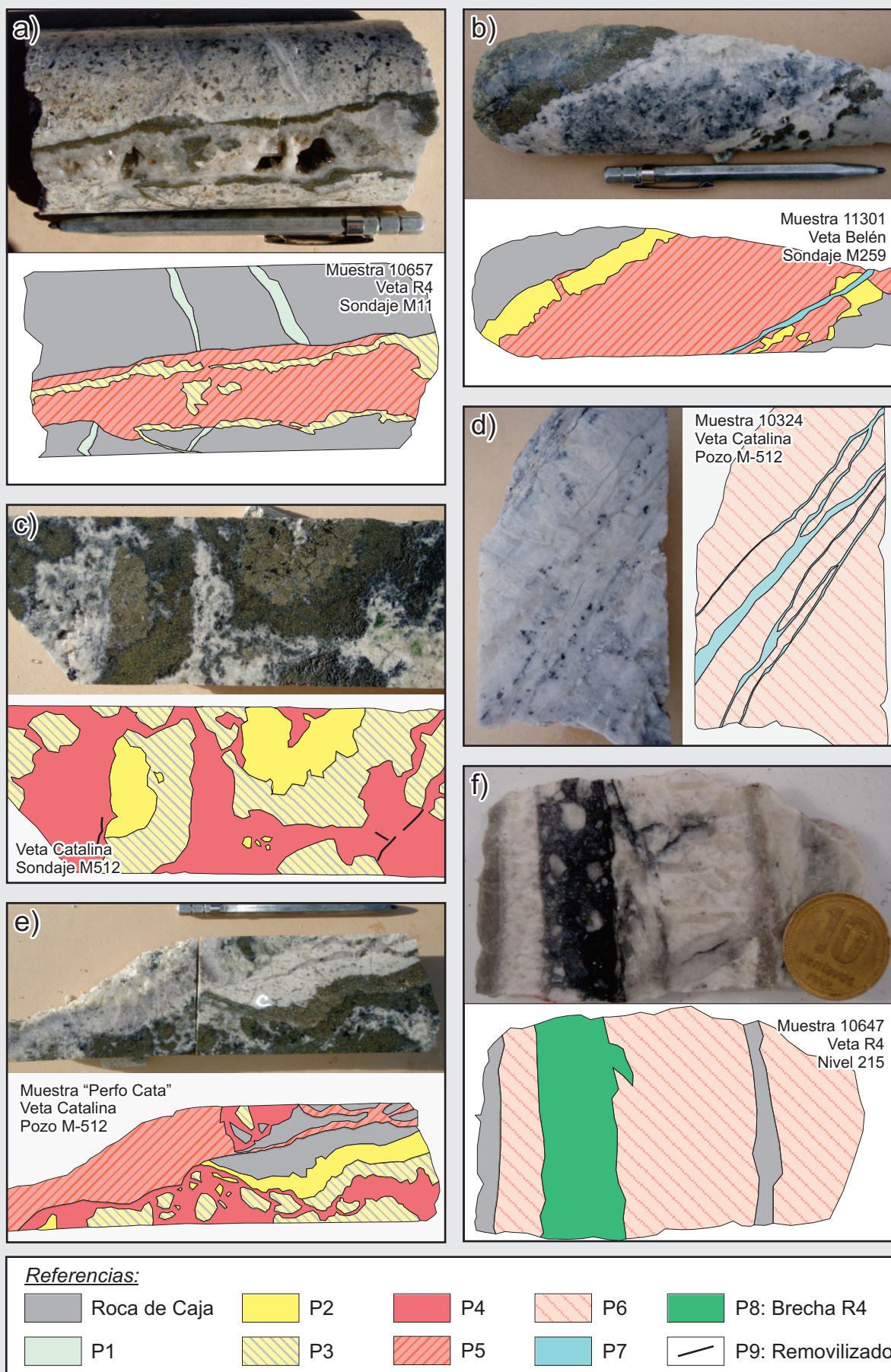
Figura 3.8. Pulsos y episodios mineralizantes

Figura 3.9. Pulsos y episodios mineralizantes



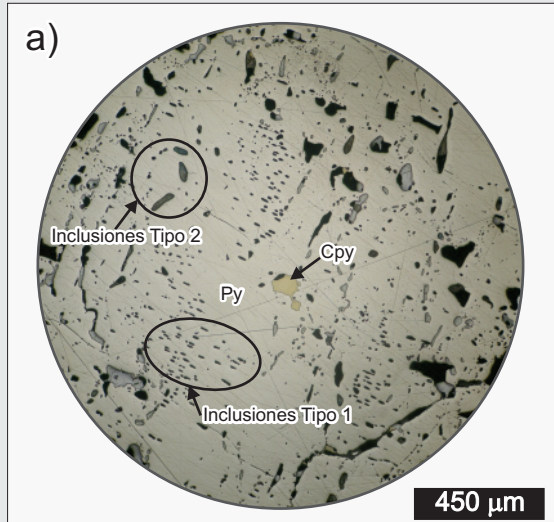
Esquema de pulsos mineralizantes observados en el sistema de vetas de Mina Martha.

4 (Figura 3.9b, c y e).

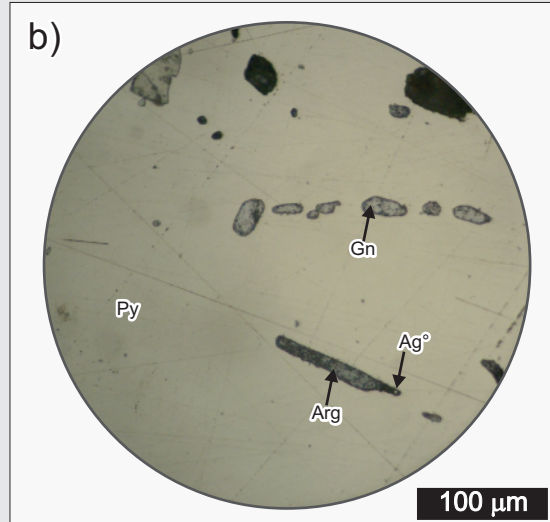
Este pulso está conformado por pirita (FeS_2) masiva de grano grueso (hasta 1 cm), que muestra abundantes inclusiones que pueden presentarse con dos arreglos diferentes (Figura 3.10a). Las inclusiones de Tipo 1 (Figura 3.10b) están caracterizadas por trenes paralelos de inclusiones elipsoidales de muy reducidas dimensiones (hasta 0,05 mm), y en general su relleno se pierde durante el proceso de pulido de la muestra. A diferencia de las anteriores, las inclusiones Tipo 2 (Figura 3.10c y d) presentan formas subredondeadas irregulares y tamaños más grandes (hasta 0,15 mm).

En ambos casos las inclusiones son mayormente de galena (PbS) y polibasita ($(Ag, Cu)_{16}Sb_2S_{11}$), que se presentan con límites mutuos rectos, y en forma muy ocasional también puede observarse calcopirita ($CuFeS$), y pirargirita (Ag_3SbS_3). Dentro de las inclusiones Tipo 2 se pudieron reconocer escasos clastos angulosos y fracturados de arsenopirita ($FeAsS$) de pequeñas dimensiones.

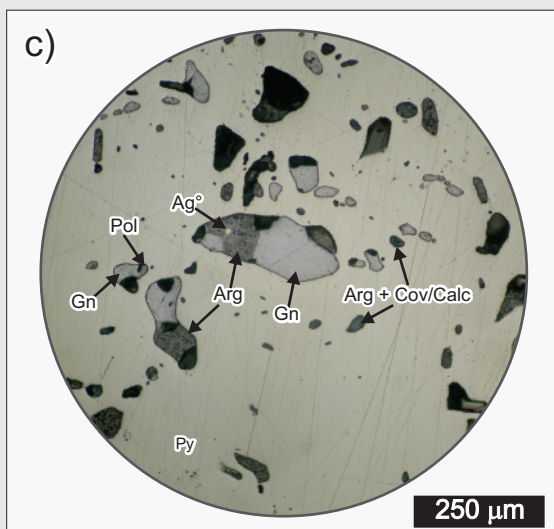
Figura 3.10. Pulso 2



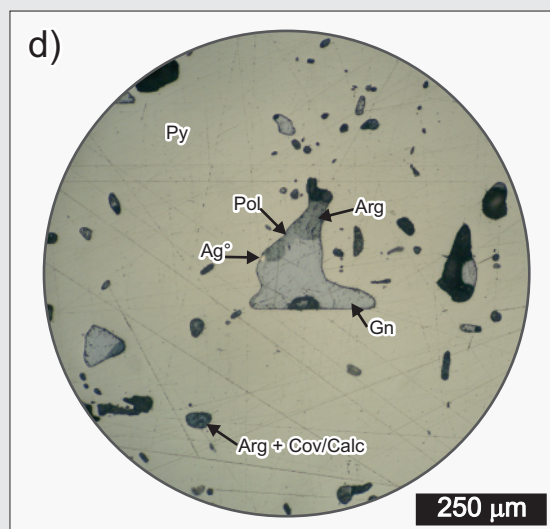
Pirita de grano grueso mostrando los diferentes tipos de inclusiones observadas. Microfotografía con luz reflejada. Referencias: Py = pirita; Cpy = calcopirita.



Detalle de las inclusiones de Tipo 1. Microfotografía con luz reflejada. Referencias: Gn = galena; Arg = argenita; Ag° = plata nativa.



Detalle de las inclusiones de Tipo 2. Microfotografía con luz reflejada. Referencias: Pol = polibasita; Cov = covelina; Calc = calcosina.



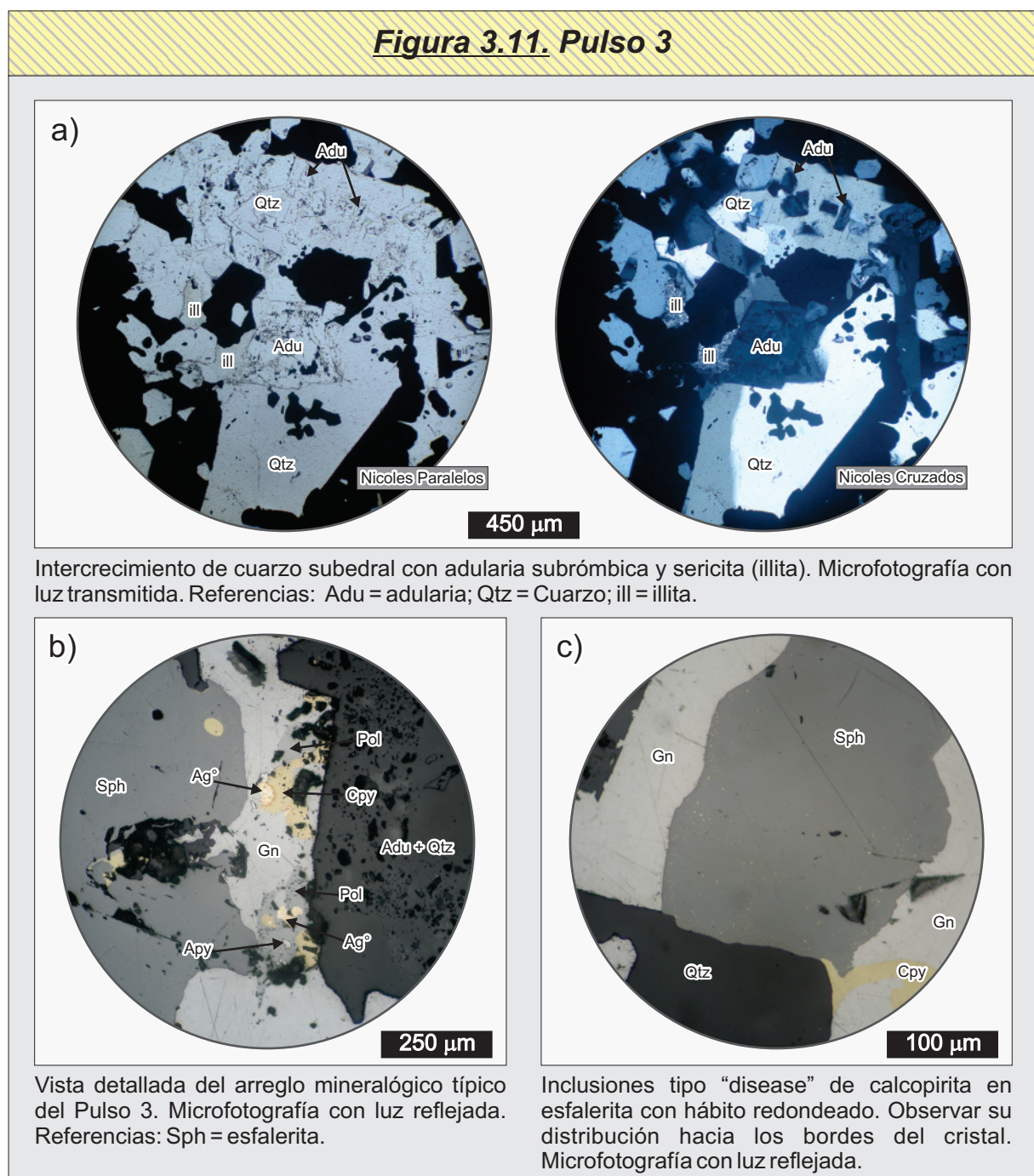
Argenita y plata nativa junto a polibasita en el interior de una inclusión de Tipo 2. Microfotografía con luz reflejada.

En ambos tipos de inclusiones es muy común la presencia de abundante argentita (Ag_2S) (Figura 3.10b, c y d) que puede o no estar acompañada por plata nativa (Ag^0) de grano muy fino (hasta $10\ \mu m$); junto con la argentita es común observar cantidades menores de calcosina (Cu_2S) y covelina (CuS) de posible origen secundario (Figura 3.10c y d). En todos los casos estos minerales secundarios se encuentran reemplazando a la polibasita, en las inclusiones Tipo 2 el grado de reemplazo es de muy leve a total, en tanto que en las Tipo 1 siempre es total.

- **Pulso 3:** Se caracteriza por una elevada proporción de sulfuros (hasta 50%) que se disponen en forma intersticial entre un intercrecimiento de adularia y cuarzo (Figura 3.8 y figuras 3.9a, c y e). Todo el arreglo presenta un tamaño de grano medio a fino y generalmente se desarrolla brechando a los pulsos anteriores, o bien como un bandeo crustiforme junto con los pulsos 2 y 4 (Figura 3.9c y e).

Los minerales de ganga (Figura 3.11a) están representados por un intercrecimiento en proporciones similares entre cuarzo (SiO_2) euedral a subedral y adularia ($KAlSi_3O_8$) de tipo subrómica, al que se asocia

Figura 3.11. Pulso 3



cantidades subordinadas de sericita (illita, $(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$).

La depositación de los sulfuros se inicia con un intercrecimiento de abundante galena y esfalerita $((Zn,Fe)S)$ que es acompañada por escasa calcopirita, arsenopirita, polibasita, y plata nativa (Figura 3.11b). La polibasita siempre se encuentra asociada a la galena. En forma tardía se produce un aumento en la proporción de calcopirita, que se presenta cortando y reemplazando a las fases anteriores, especialmente a la galena y esfalerita.

La esfalerita de este pulso se caracteriza por presentar inclusiones subredondeadas de calcopirita (tipo "disease"). Las mismas solo se encuentran presentes hacia los bordes de los cristales de esfalerita y no presentan una orientación definida (Figura 3.11c).

Finalmente, es común que este pulso incluya cantidades variables de clastos de pirita provenientes del Pulso 2.

- Pulso 4: Este pulso se caracteriza por una cantidad muy variable de sulfuros, que en general ronda el 30%, aunque en algunos casos puede alcanzar hasta el 50%; y que se disponen en forma intersticial entre un intercrecimiento de adularia y cuarzo (Figura 3.8 y 3.12a). Todo el arreglo presenta un tamaño de grano medio a fino y generalmente se desarrolla brechando a los pulsos anteriores, o bien en la parte central de un bandeado crustiforme junto con el Pulso 2 y 3 (Figura 3.9c y e). En algunos casos, especialmente en las etapas tempranas de este pulso, se ha observado un fino bandeo rítmico de escala sub-milimétrica donde alternan capas de adularia con capas de adularia con sulfuros, pero cuando está presente en general no supera los 5 mm de espesor.

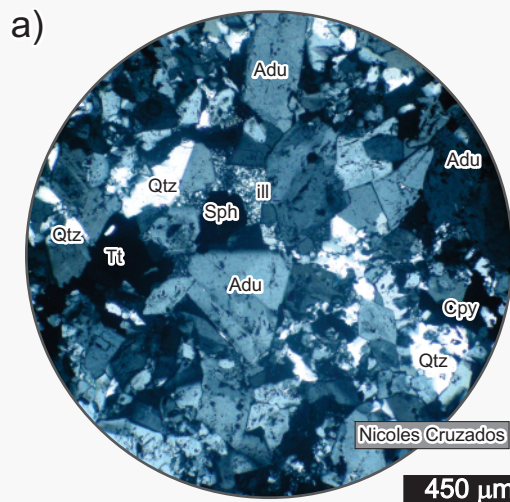
Los minerales de ganga (Figura 3.12a) están representados por un intercrecimiento entre abundante adularia de tipo subrómica y en menor medida rómica, cuarzo generalmente subedral, y cantidades subordinadas de illita y/o clorita $((Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg,Fe)_3(OH)_6)$ que rellena cavidades. La cantidad de adularia es mayor en las etapas tempranas de este pulso, y su proporción respecto al cuarzo va decreciendo gradualmente hacia las etapas tardías, a las que también se asocian pequeñas cavidades drusiformes de cuarzo euedral.

Dentro de los minerales de mena el sulfuro más abundante es la esfalerita, seguida en abundancia por pirita, galena y tetraedrita $((Ag,Cu,Fe,Zn)_{12}(Sb,As)_4S_{13})$, y cantidades subordinadas de polibasita, miargirita $(AgSbS_2)$, pirargirita, freieslebenita $(AgPbSbS_3)$, plata nativa y arsenopirita (Figura 3.8).

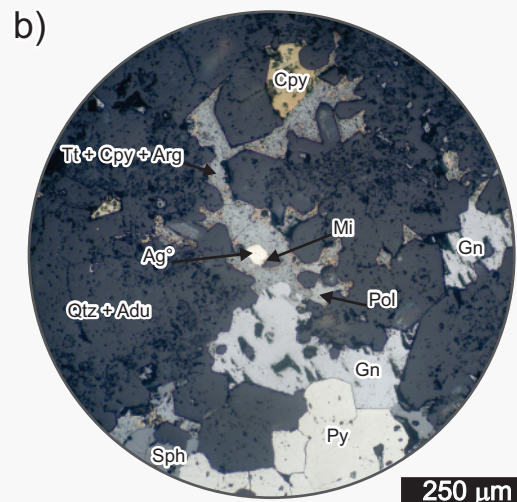
La tetraedrita se presenta con aspecto netamente anedral y con contactos irregulares con otros sulfuros. Presenta un tamaño de grano mediano, y puede alcanzar hasta 300 μm . Los cristales se observan con reemplazos variables de calcopirita \pm argentita hacia los bordes y en forma de parches irregulares (Figura 3.12b).

La pirita se presenta como agregados de cristales subedrales a anedrales (Figura 3.12b), que en líneas generales no presentan inclusiones, lo que permite diferenciarlas de los cristales de pirita del pulso 2. En general estos agregados alcanzan los 500 μm . Se han reconocido algunos cristales de pirita con una muy elevada proporción de inclusiones (más del 30% en volumen) de geometría vermicular y de reducidas dimensiones (inferiores a 3 μm), que están rellenas de tetraedrita, argentita y/o plata nativa (Figura 3.12c). Las piritas ricas en inclusiones representan posiblemente reemplazos creciendo sobre la tetraedrita y en forma minoritaria sobre la esfalerita y galena; estos reemplazos se originan a partir de las piritas de este pulso o bien a partir de los clastos de pirita del pulso 2.

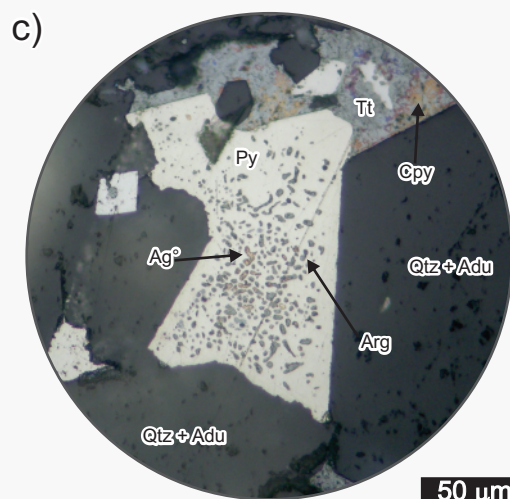
La esfalerita de este pulso se caracteriza por geometrías anedrales, separadas de otros sulfuros por

Figura 3.12. Pulso 4

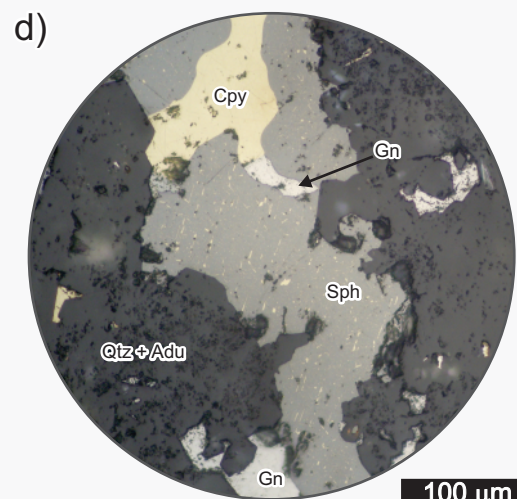
Intercrecimiento de adularia subrómica, cuarzo anhedral e illita. Microfotografía con luz transmitida. Referencias: Tt = tetraedrita.



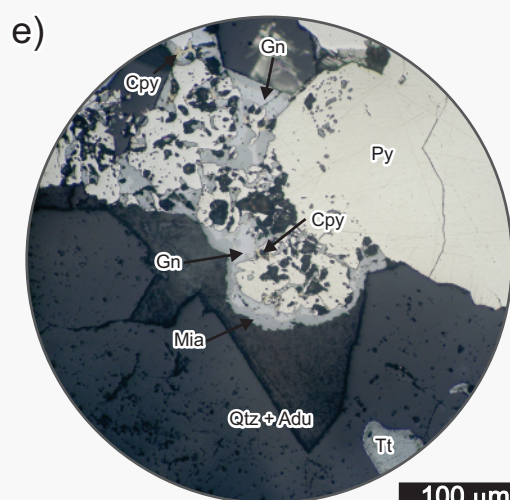
Vista detallada del arreglo mineralógico típico del Pulso 4. Microfotografía con luz reflejada. Referencias: Mi = miargirita.



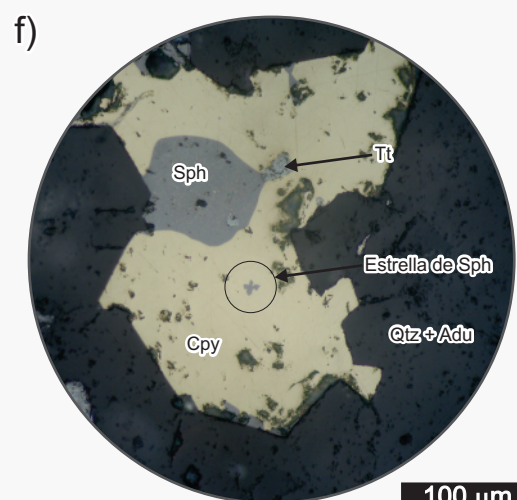
Inclusiones con geometría vermicular de plata nativa y argentita en piritita. Microfotografía con luz reflejada.



Inclusiones tipo "disease" de calcopirita en esfalerita con hábitos lamelares y redondeados. Microfotografía con luz reflejada.



Sobrecrecimiento de miargirita y calcopirita sobre galena. Microfotografía con luz reflejada.



Inclusiones de esfalerita con geometría en "estrella" dentro de calcopirita. Microfotografía con luz reflejada.

bordes lobulados. Presenta un tamaño de grano mediano, que puede alcanzar los 500 μm . Una característica distintiva es la presencia de abundantes inclusiones de calcopirita, pero a diferencia del pulso anterior, las mismas se presentan con geometrías lamelares formando trenes orientados en direcciones cristalográficas, aunque al mismo tiempo se observan otras con geometrías subredondeadas (tipo “disease”) y distribución aleatoria (Figura 3.12d). En ambos casos las inclusiones se encuentran homogéneamente distribuidas dentro de los cristales de esfalerita.

Los cristales de galena no presentan desarrollo de caras cristalinas, y en general muestran límites irregulares que los separan de los demás sulfuros. Los cristales alcanzan dimensiones que pueden llegar hasta los 500 μm , y que por sectores presentan un variable grado de reemplazo por miargirita y calcopirita, que en general se disponen como coronas de miargirita que rodean a un núcleo de galena, y entre ambos se dispone una fina capa de calcopirita (inferior a 2 μm) (Figura 3.12e).

La calcopirita se presenta como cristales anedrales medianos con tamaños de hasta 400 μm . La misma se presenta con límites irregulares con otros sulfuros, y en algunos casos parece estar reemplazando parcialmente a la esfalerita. Una característica distintiva de la calcopirita de este pulso es la presencia de inclusiones con forma de estrella de tres o cuatro puntas (posiblemente producto de desmezcla, Figura 3.12f). A su vez, las estrellas de esfalerita presentan inclusiones globulares (tipo “Disease”) sub-microscópicas de calcopirita.

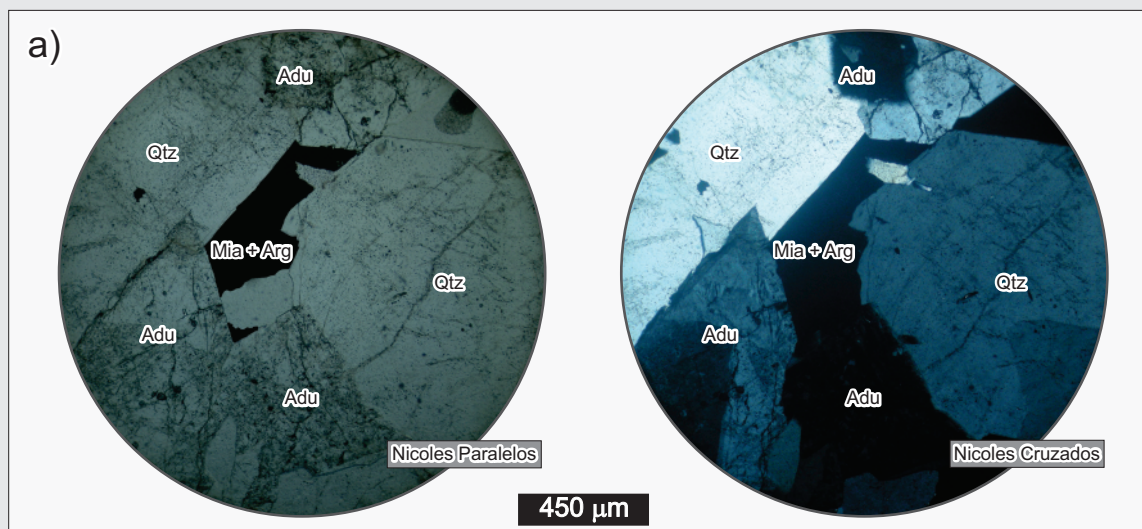
La arsenopirita posee un tamaño de grano fino (hasta 60 μm) y en general se presenta con aspecto eudral a subedral, ya sea incluido en otros sulfuros o bien libre entre los cristales de cuarzo y adularia.

Entre los minerales de plata, la polibasita (Figura 3.12b) se encuentra como granos anedrales a subedrales de hasta 150 μm , que se presentan intercrecidos mayormente con la tetraedrita y en menor medida junto a la galena. En forma eventual también pueden reconocerse pequeñas inclusiones de plata nativa dentro de la polibasita.

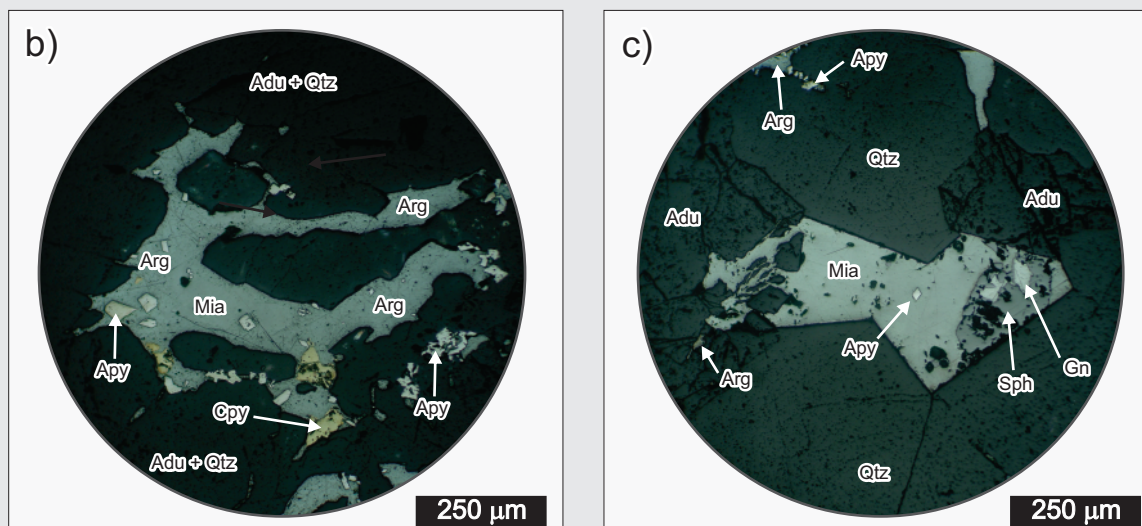
La miargirita, y en menor medida la pirargirita, se presentan con tamaños pequeños, aunque pueden alcanzar dimensiones de hasta 50 μm . En general se presentan como inclusiones dentro de los cristales de tetraedrita (Figura 3.12b), o bien como reemplazo en los bordes de los cristales de galena (Figura 3.12e). Acompañando a los cristales de miargirita y pirargirita, se pudo reconocer cantidades muy subordinadas de freieslebenita como inclusiones diminutas dentro de la tetraedrita.

Por último, la plata nativa se presenta como granos redondeados de dimensiones variables (Figura 3.12b y c), que pueden alcanzar tamaños de hasta 40 μm . Se encuentra siempre asociada a otros sulfuros, pudiendo aparecer como inclusiones dentro de tetraedrita, galena, miargirita y en menor medida dentro de polibasita, o bien como vermes dentro de piritita (Figura 3.12c). Hacia las partes finales de este pulso, la plata nativa puede observarse formando “nidos” de cristales de hábito ganchudo a filiforme que crecen en los espacios abiertos de cavidades drusiformes de la ganga.

- **Pulso 5:** Se trata de un pulso dominado por una elevada proporción de minerales de ganga, principalmente cuarzo y adularia (Figura 3.8 y Figuras 3.9a, b y e), en donde los sulfuros y sulfosales se presentan en cantidades inferiores al 5-10 %. Todo el arreglo presenta un tamaño de grano medio dominado por texturas masivas, y en menor medida brechando a los pulsos anteriores. En algunos sectores este pulso se inicia con una banda de adularia masiva con cantidades subordinadas de cuarzo y escasos minerales de mena, que pasa rápidamente a un sector cuarzoso con cantidades menores de adularia y mayor contenido de sulfosales (Figura 3.9b).

Figura 3.13. Pulso 5

Intercrecimiento de cuarzo subedral a eudral con adularia subrómica. Microfotografía con luz transmitida.



Vista detallada del arreglo mineralógico típico del Pulso 5. Microfotografía con luz reflejada.

Vista detallada del arreglo mineralógico típico del Pulso 5. Microfotografía con luz reflejada.

Los minerales de ganga están representados por abundante cuarzo subedral a eudral de grano grueso (Figura 3.13a), que en algunas ocasiones puede presentarse zonado o bien con una textura en peine. Intercrecida en forma intersticial, se encuentran cristales subedrales de adularia del tipo subrómica y escasa sericita (illita). En forma tardía puede observarse también la presencia de cuarzo tipo amatista formando cavidades pequeñas de tipo drúsico.

Los minerales de mena se desarrollan en forma intersticial y en cercana asociación a los cristales de adularia (Figura 3.13a), y en general se hacen un poco más abundantes hacia las partes centrales del pulso, especialmente en las cavidades drusiformes observadas. La paragénesis de este pulso se caracteriza por un amplio desarrollo de miargirita y argentita, a las que se asocia arsenopirita, calcopirita y cantidades menores de esfalerita y galena (Figuras 3.8 y 3.13b y c).

Los sulfuros de metales base se presentan en cantidades muy subordinadas. La calcopirita, galena y esfalerita se presentan como granos anedrales en forma de inclusiones dentro de la miargirita (Figura 3.13c) y en menor medida dentro de la argentita (Figura 3.13b). En general se presentan libres de inclusiones, con un tamaño de grano fino (hasta 150 μm), y con contactos lobulados y/o irregulares hacia

los demás minerales. Por último, la arsenopirita se presenta como cristales euedrales (Figura 3.13b y c) de grano muy fino (en general menos de 50 μm).

Los minerales de plata, tanto la miargirita como la argentita, están caracterizados por un hábito intersticial, cuya forma queda determinada por los cristales que los rodean (Figura 3.13b y c). En el caso que aparezcan juntas, la miargirita se presenta en general en la parte central y es rodeada por la argentita mediando un contacto lobulado entre ambas (Figura 3.13b). Ambas especies se presentan con un tamaño de grano variable, aunque pueden alcanzar hasta 1,5 mm. Es común que incluyan abundantes cristales euedrales de arsenopirita de grano muy fino (Figura 3.13b y c), y en menor medida cristales de esfalerita y galena. Dentro de las cavidades drusiformes, la miargirita se presenta con un excelente desarrollo cristalino, formando cristales euedrales de hasta 0,7 cm.

Episodio 3:

- **Pulso 6:** Este pulso se encuentra por completo libre de sulfuros, y está dominado por una alta proporción de adularia de grano grueso, que puede superar el 80% en volumen (Figuras 3.9d y f y Figura

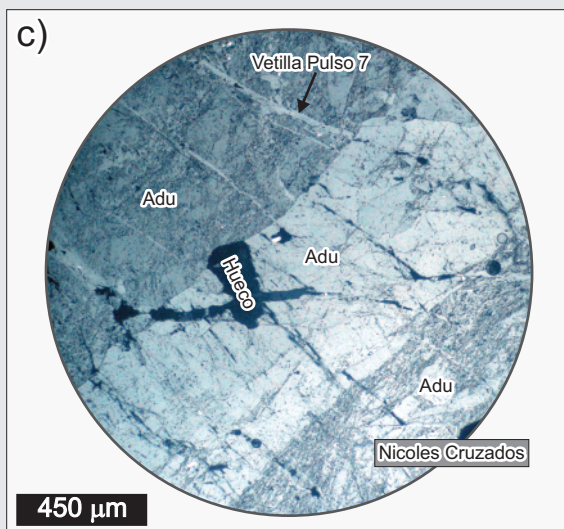
Figura 3.14. Pulso 6



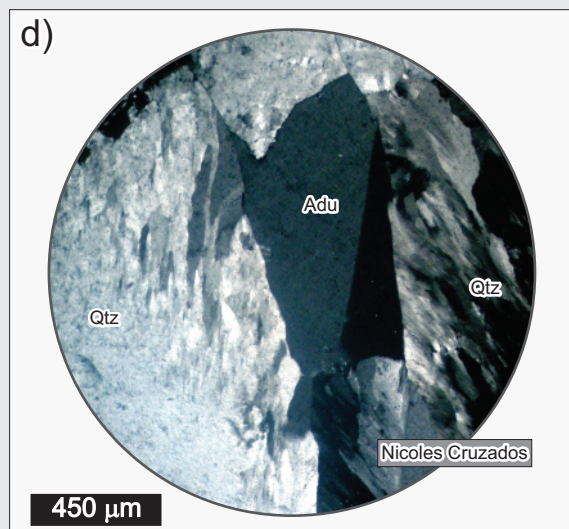
Intercrecimiento de adularia gruesa de hábito tabular a subrómico con cuarzo subedral a anedral.



Cristales zonados de cuarzo y amatista intercrecidos con adularia en la parte central del Pulso 6. Referencias: Ama = amatista.



Intercrecimiento de cristales de adularia tabular con distinta proporción de inclusiones y una leve alteración a caolinita. Microfotografía con luz transmitida.



Intercrecimiento de cristales de cuarzo con textura plumosa entre los que se dispone un cristal maclado de adularia subedral. Microfotografía con luz transmitida.

3.14), y que es acompañada por un 20% en volumen de cuarzo (Figura 3.14a). Hacia la parte central de este pulso, se produce un incremento en la proporción de cuarzo y amatista (Figura 3.14b) que presentan un arreglo general con textura en peine, con cristales euedrales a subedrales de varios centímetros, que forman cavidades drusiformes que llegan hasta los 2 m de diámetro (ver Capítulo 4).

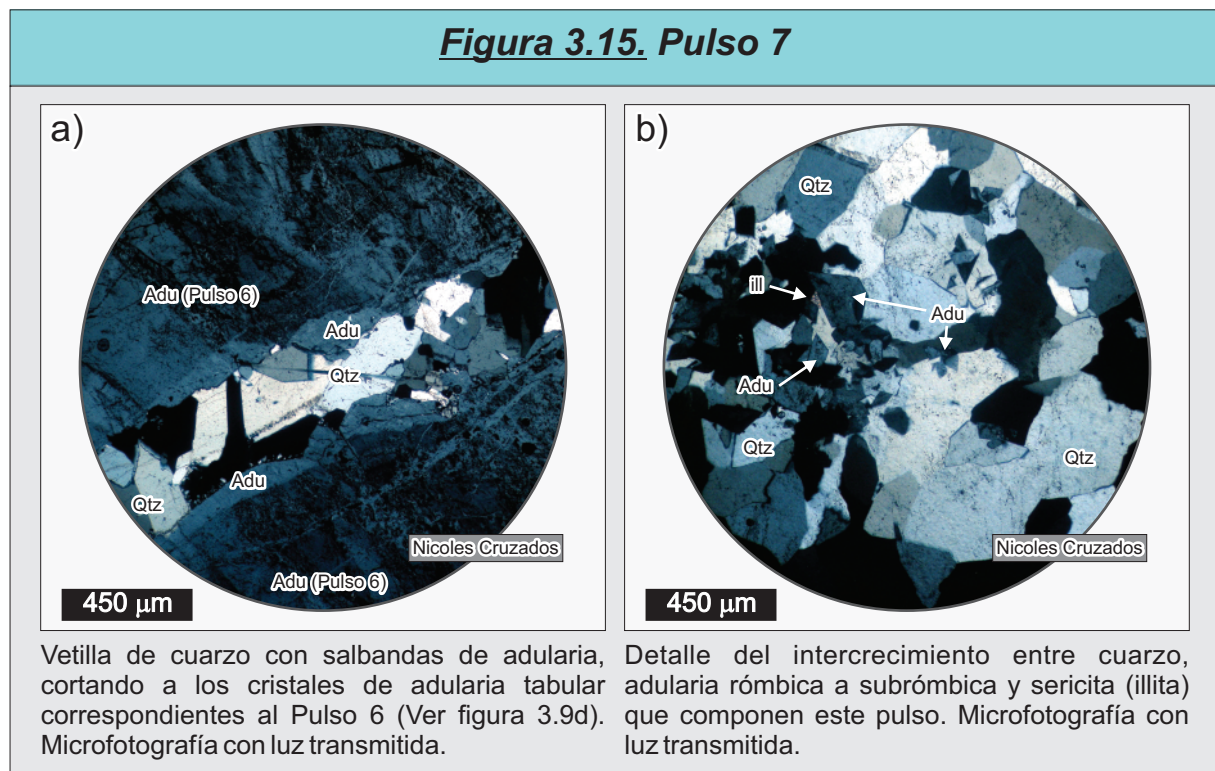
En general la adularia presenta un hábito tabular con geometrías euedrales a subedrales (Figura 3.14c) y un tamaño de grano grueso a muy grueso (desde 50 μm hasta 5-8 mm), en algunos casos se puede observar una leve alteración a caolinita afectando a los cristales. El cuarzo y la amatista forman un agregado de cristales subedrales a euedrales de gran tamaño (hasta 2 cm) caracterizados por texturas plumosas y zonadas (Figuras 3.14b y d). Las texturas plumosas reconocidas son interpretadas de acuerdo a [Dong et al. \(1995\)](#), como el resultado de la recrystalización de agregados de cuarzo con crecimiento epitaxial tipo “árbol de navidad” (Figura 4.10d), formados en cavidades drusiformes pertenecientes a este pulso.

- **Pulso 7:** Corresponde a un conjunto de vetillas de aspecto anastomosado (Figuras 3.9d y 3.15), conformadas por cuarzo sacaroide, cantidades subordinadas de adularia y escasa sericita (illita). El cuarzo se caracteriza por granos anedrales a subedrales (hasta 500 μm), que en algunos casos pueden presentar textura plumosa, pero que en general se presentan límpidos (Figuras 3.15a y b). La adularia es de grano mediano a fino (en general no supera los 200 μm) y se presenta con geometría euedral, hábito rómbico y en menor medida subrómbico (Figuras 3.15b). Por último, la sericita (illita) es escasa y se presenta rellenando intersticios dejados entre las demás fases minerales (Figuras 3.15b). Este pulso no presenta ningún sulfuro asociado y se encuentra poco representado en los sectores mineralizados.

Episodio 4:

- **Pulso 8:** Este pulso se encuentra únicamente desarrollado en las vetas Martha y R4, estando por completo ausente en el Sistema Del Medio. Está representado por una brecha cohesiva de falla (“cohesive fault breccia”, [Passchier y Trouw, 2005](#)) de aspecto masivo, en la que participan abundantes

Figura 3.15. Pulso 7



clastos angulosos a subangulosos que están rodeados por una matriz de grano fino (Figura 3.9f, 3.16a, b y c). Los clastos presentan una gran variabilidad granulométrica, desde decimétricos hasta milimétricos, definiendo una distribución de tipo “seriada” que dificulta una clara distinción entre los clastos y el material de la matriz (Figura 3.16a, b y c). En algunos sectores las brechas alternan con bandas centimétricas de cataclasitas cohesivas foliadas (“*foliated cohesive cataclasite*”, Passchier y Trouw, 2005) caracterizadas por un menor tamaño de los clastos y una mayor proporción de matriz (Figura 3.16d). El aspecto foliado de estas cataclasitas está dado por la alternancia de bandas con distinta proporción de minerales opacos (sulfuros y sulfosales). En ambos casos el contenido de matriz es muy bajo y está compuesta por calcedonia de grano muy fino.

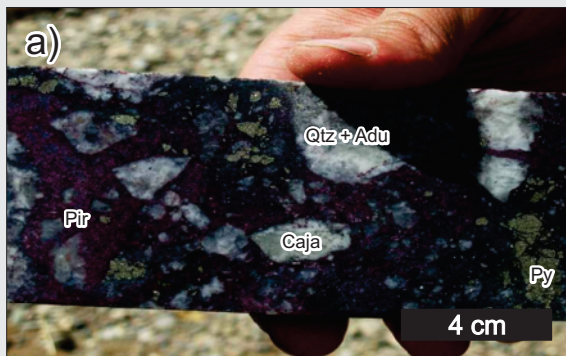
Este pulso se presenta formando cuerpos irregulares que cortan tanto a la mineralización previa, como también a la secuencia ignimbrítica. De esta manera, cuando las brechas cortan sectores mineralizados se caracterizan por la presencia de abundantes clastos de sulfuros y/o adularia pertenecientes a los pulsos anteriores (Figura 3.16a), que son acompañados por cantidades subordinadas de clastos de la roca de caja. La matriz muestra una coloración oscura con tonalidades rojizas dada por la presencia de abundantes sulfosales de plata (Figura 3.16a), principalmente pirargirita, que se presentan rellenando cavidades dentro de la brecha. En estos casos, los cuerpos de brechas presentan valores muy elevados de plata. A diferencia del caso anterior, cuando la brecha atraviesa únicamente la roca de caja, se caracteriza por la presencia de clastos que están compuestos casi exclusivamente por ignimbritas (Figura 3.16b) rodeadas por una matriz de colores claros y tonalidades grisáceas que no están acompañadas por cantidades significativas de sulfuros y/o sulfosales (Figura 3.16b). Estos sectores presentan contenidos muy bajos de plata y son considerados estériles, y en general sus leyes aumentan progresivamente a medida que las brechas se aproximan a las zonas mineralizadas.

Dentro de este esquema, los sulfuros y sulfosales pertenecientes a los pulsos anteriores se presentan mayormente como clastos fracturados, y en muchos casos con evidencias de cataclasis (Figura 3.16d y e). Muchas veces, estos clastos presentan sobrecrecimientos de una segunda generación de la misma especie mineral que tienden a rellenar y “sanar” las fracturas producto del brechamiento (Figura 3.16f). De esta manera, los sulfuros propios de este pulso se presentan en forma muy subordinada (Figura 3.8), siendo el más abundante la arsenopirita, que es seguido en abundancia por pirita, esfalerita, calcopirita y galena.

Las zonas de alta ley dentro de este pulso, se caracterizan por la presencia de abundantes sulfosales de plata y cobre (Figuras 3.8 y 3.16a), siendo las variedades más abundantes la pirargirita y la miargirita, seguidas por la tetraedrita. Estos minerales se presentan rellenando pequeñas cavidades dentro de la brecha (Figura 3.16g y h), que en general no superan los 150 μm , y se caracterizan por formas muy irregulares. En todos los casos se presentan formando agregados de varios minerales con intercrecimientos de bordes lobulados y/o irregulares entre las distintas sulfosales (Figura 3.16h).

- Pulso 9: El último pulso reconocido en Mina Martha está compuesto principalmente por sulfosales de plata y cobre que se presentan formando una red discontinua de vetillas anastomosadas, de no más de 1 a 2 milímetros de ancho (Figura 3.9f), que se asocian a los sectores mineralizados de la brecha del pulso P8.

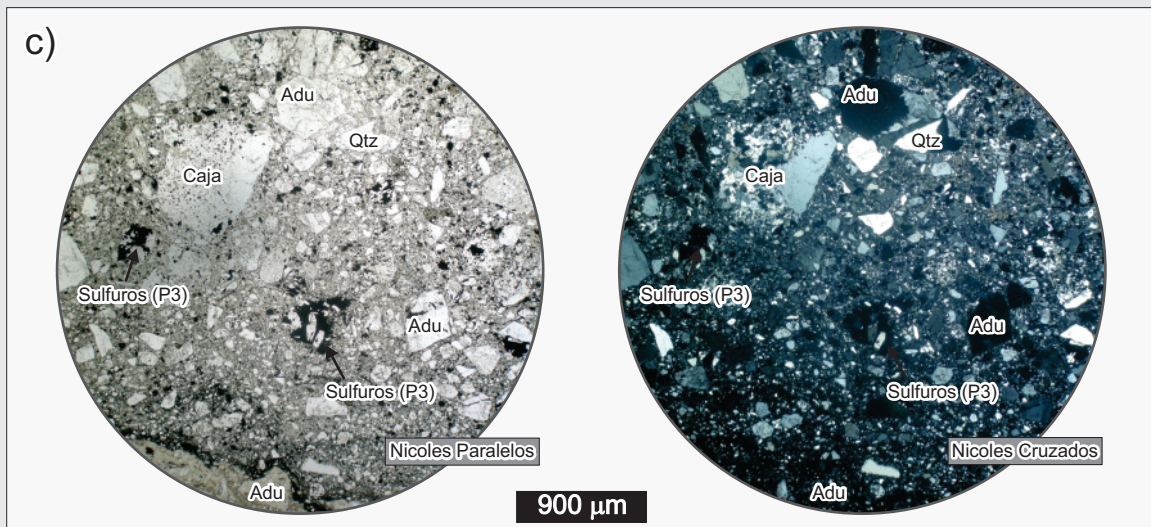
Los minerales de mena son en su mayoría sulfosales de plata y cobre (Figura 3.8), siendo las

Figura 3.16. Pulso 8

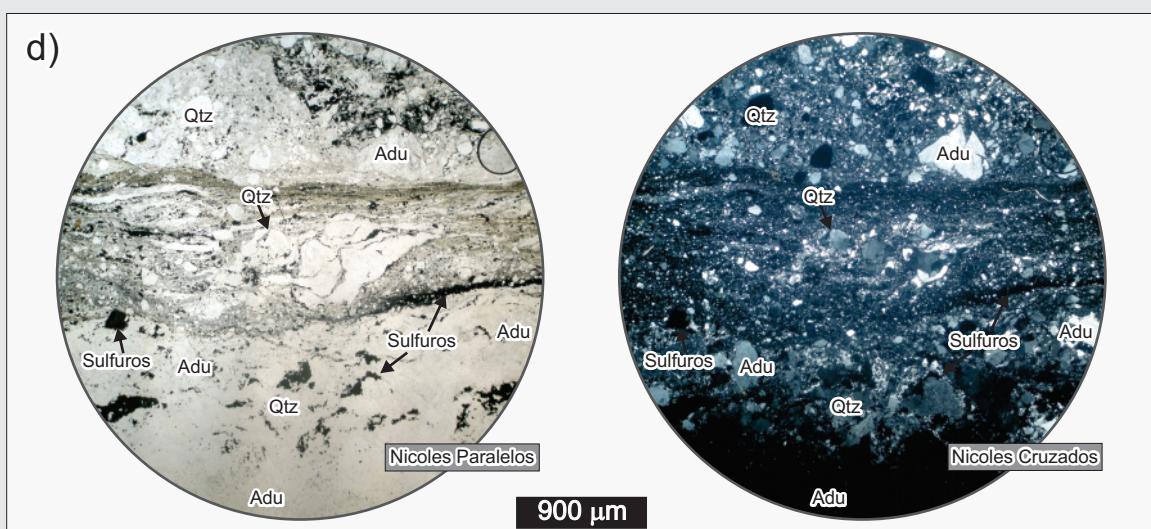
Brecha de alta ley con clastos de roca de caja, piritita (P2) y veta de adularia y cuarzo (P6) rodeados por una matriz fina con abundante pirargirita (Pir) diseminada (Pozo MH-524: 0,47 m con 41,6 ppm Au y 47.463 ppm Ag).



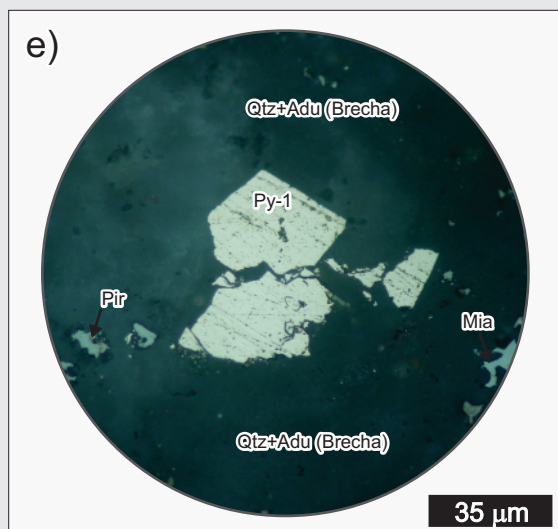
Brecha de baja ley con clastos de roca de caja rodeados por una matriz de grano fino libre de sulfuros y sulfosales (Pozo M-366: 0,5 m con 0,05 ppm Au y 11 ppm Ag).



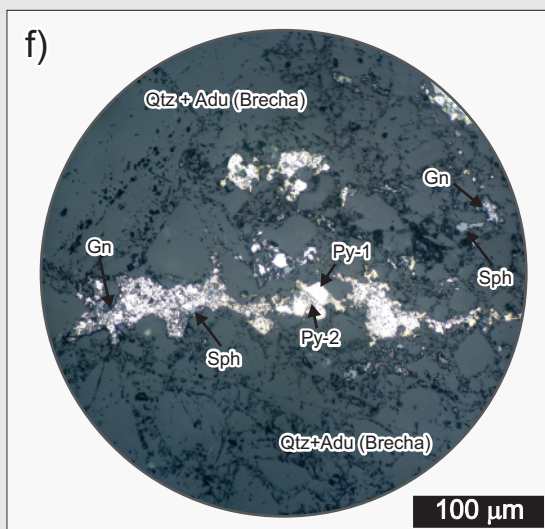
Vista general de la brecha cohesiva de falla donde pueden reconocerse clastos de roca de caja, veta con sulfuros, y de veta de adularia y cuarzo. Microfotografía con luz transmitida.



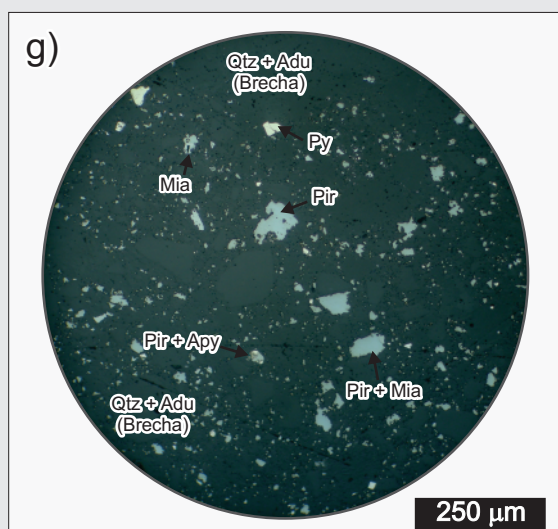
Vista de la brecha mostrando un sector con mayor grado de deformación cataclástica, caracterizada por el desarrollo de una foliación y un tamaño de grano mucho mas fino que los sectores lindantes. Microfotografía con luz transmitida.

Figura 3.16 (continuación). Pulso 8

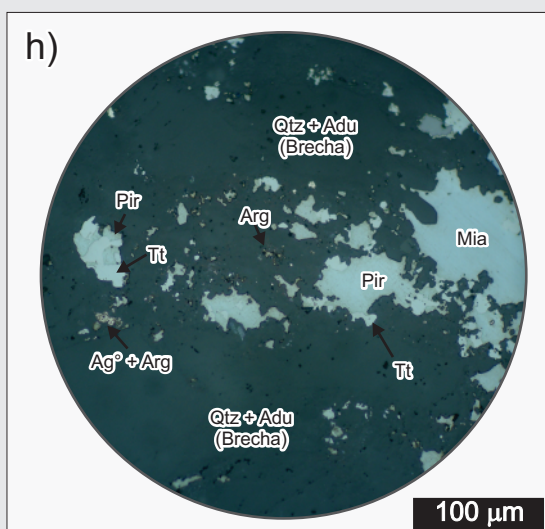
Clasto de pirita fracturado y parcialmente desmembrado. La miargirita y pirargirita se encuentran rellenando pequeñas cavidades en la matriz de la brecha. Microfotografía con luz reflejada.



Clastos de pirita fracturados y desmembrados (Py-1) con un sobrecrecimiento de pirita de segunda generación (Py-2) rica en inclusiones finas pertenecientes a la matriz. Microfotografía con luz reflejada.



Vista general de la mineralización del Pulso 8 mostrando las distintas sulfosales que se presentan intercrecidas dentro de la matriz de la brecha. Microfotografía con luz reflejada.



Vista detallada del arreglo mineralógico típico de la matriz de la brecha mineralizada del Pulso 8. Microfotografía con luz reflejada.

variedades más abundantes la pirargirita y la miargirita, seguidas por tetraedrita, plata nativa, arsenopirita y cantidades menores de bournonita ($PbCuSbS_3$).

La pirargirita en general está ubicada hacia las paredes de las vetillas (Figura 3.17a) en forma de cristales anedrales de entre 15 a 75 μm , aunque puede alcanzar tamaños de hasta 200 μm y conformar el ancho total de la vetilla (Figura 3.17b). Esta fase mineral se presenta intercrecida con granos anedrales de miargirita, tetraedrita y/o bournonita (Figura 3.17a y b), o bien formando intercrecimientos mirmequíticos junto con la miargirita (Figura 3.17c). Hacia los bordes de las vetillas, los cristales de pirargirita presentan un leve reemplazo por argentita de posible origen supergénico (Figura 3.17b).

La miargirita se presenta en general en las partes centrales de las vetillas (Figura 3.17a) formando cristales de entre 50 y 200 μm , o bien formando intercrecimientos mirmequíticos dentro de los cristales de

pirargirita (Figura 3.17c). Es muy común que la miargirita presente inclusiones de plata nativa de grano muy fino que, hacia los bordes de los cristales, aumentan en densidad y tamaño (Figura 3.17d).

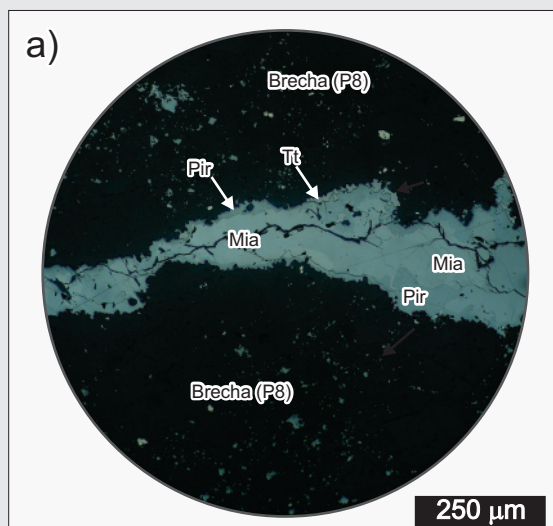
La tetraedrita se presenta mayormente intercrecida con la pirargirita y la bournonita (Figura 3.17a y b), muestra un aspecto netamente anedral con contactos irregulares con las demás sulfosales, y un tamaño de grano mediano que puede alcanzar dimensiones de hasta 300 μm .

La plata nativa en general se presenta como pequeñas inclusiones (1-5 μm) dentro de los cristales de miargirita (Figura 3.17d), que hacia los bordes de los cristales tienden a aumentar en densidad y tamaño.

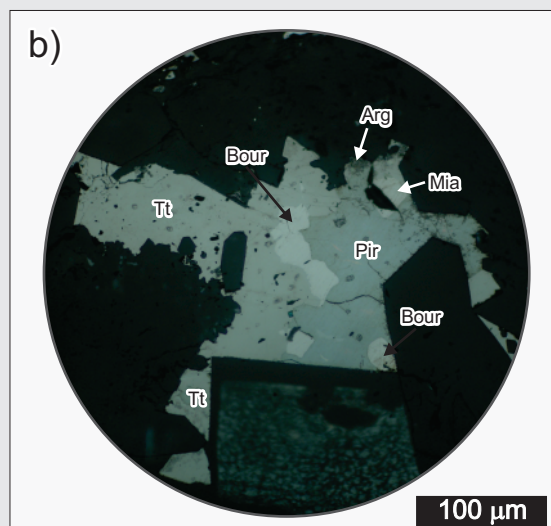
Los cristales de bournonita se presentan como granos equidimensionales anedrales que se ubican intercrecidos entre las demás sulfosales, especialmente asociados a pirargirita y tetraedrita (Figura 3.17b), y en general muestran tamaños que no superan los 50 μm .

Por último, la arsenopirita es una fase mineral escasa en este pulso, y se presenta mayormente en forma de cristales euedrales de tamaño fino a muy fino, que normalmente no superan los 15 μm , y que se

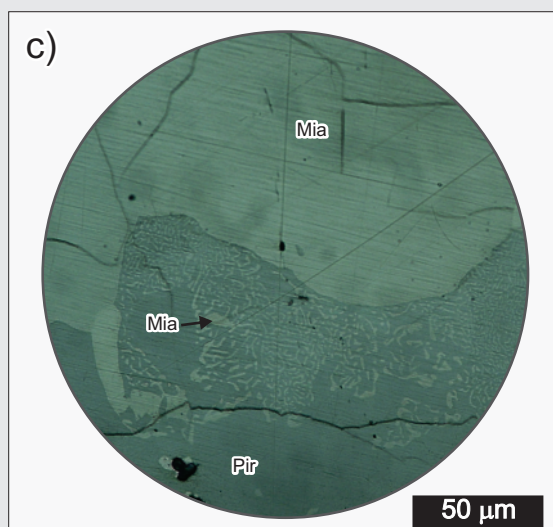
Figura 3.17. Pulso 9



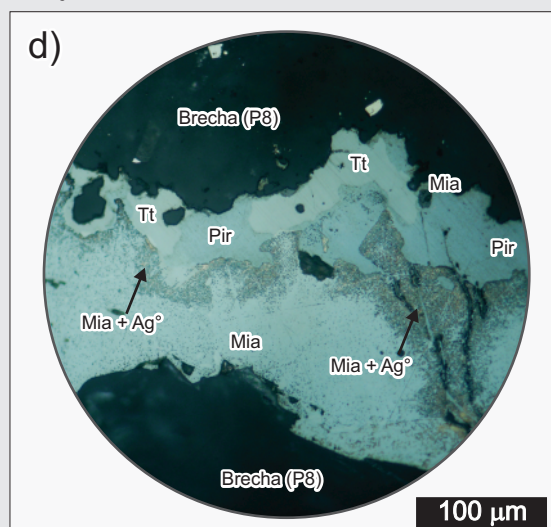
Vista general mostrando la mineralogía de una de las vetillas del Pulso 9. Microfotografía con luz reflejada.



Vista detallada mostrando la mineralogía que compone el Pulso 9. Microfotografía con luz reflejada. Referencias: Bour = bournonita.



Detalle de las texturas mirmequíticas desarrolladas entre la pirargirita y la miargirita del Pulso 9. Microfotografía con luz reflejada.



Detalle de las finas inclusiones de plata nativa en miargirita del Pulso 9. Microfotografía con luz reflejada.

observa como inclusiones en la pirargirita o miargirita.

3.5.2. Química mineral

Con el fin de caracterizar la mineralogía de los pulsos anteriormente descriptos, se realizaron un total de 207 análisis de microsonda electrónica sobre las principales fases minerales observadas en el yacimiento (Figura 3.18). Dentro de las sulfosales se efectuaron un total de 65 análisis sobre tetraedrita, 27 sobre pirargirita, 21 sobre polibasita, 15 sobre miargirita, 4 sobre freieslebenita y 2 sobre bournonita. En el caso de los sulfuros, se realizaron 23 análisis sobre esfalerita, 14 sobre galena, 13 sobre calcopirita, 10 sobre pirita y 10 sobre arsenopirita (Anexo IV). Por último, se analizó la composición de 3 granos de plata nativa. En términos generales, se obtuvieron fórmulas estequiométricas muy próximas a la ideal para los sulfuros y sulfosales, aunque se observaron grandes variaciones en la composición de la tetraedrita (Figura 3.18).

La plata nativa se presenta como una fase mineral muy pura, mostrando contenidos de Ag que en general superan el 97% (Figuras 3.18 y 3.19). Como impurezas se pudieron reconocer cantidades muy subordinadas de As, Se, Te y Bi, en contenidos que en general no superan el 0,2%.

La composición de la tetraedrita (episodios E2 y E4) varía en torno a la solución sólida entre la tetraedrita argentífera y la freibergita (Figura 3.18 y Figura 3.19; [Gonzalez Guillot et al., 2008](#)), presentando en general un contenido elevado de plata y una relación Ag/(Ag+Cu) que muestra un rango variable de sustitución entre Ag y Cu. En general, los contenidos de Ag varían entre 13,7% y 33,7%, con un promedio alrededor del 25,2%, mientras que los contenidos de arsénico son muy bajos y raramente superan el 2%. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para esta sulfosal corresponde a $(\text{Cu}_{4,08-7,81} \text{Ag}_{2,22-6,25}) (\text{Zn}_{0,35-1,50} \text{Fe}_{0,50-1,77}) (\text{Sb}_{2,52-4,31} \text{As}_{0-1,51} \text{Se}_{0-0,51}) \text{S}_{12,11-13,02}$. Por último, las tetraedritas pertenecientes al episodio E4 son ligeramente más argentíferas que las pertenecientes al episodio E2.

La polibasita del episodio E2 presenta ligeras variaciones en sus contenidos de Cu, Ag y Sb, aunque en líneas generales las fórmulas son bastante homogéneas (Figura 3.18 y Figura 3.19). Una característica distintiva es la presencia de contenidos elevados de selenio en el pulso P3 (polibasita selenífera; [Márquez-Zavalía et al., 2008](#)), mientras que en el pulso P4 no se registraron contenidos significativos de este elemento. Como otras impurezas se reconoció la presencia de Fe, Zn, As y Te. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para la polibasita selenífera (P3) corresponde a $(\text{Ag}_{17,23} \text{Cu}_{2,04}) (\text{Sb}_{1,02} \text{As}_{0,39}) (\text{S}_{11} \text{Se}_{0,84})$, en tanto que la obtenida para las polibasitas normales corresponde a $(\text{Ag}_{15,96} \text{Cu}_{2,25}) \text{Sb}_{1,72} \text{S}_{11}$.

La pirargirita del episodio E4 se caracteriza por relaciones Sb/(Sb+As) que son siempre mayores a 0,98, lo que indica que los cristales corresponden al extremo rico en Sb de la solución sólida pirargirita-proustita. De esta manera los contenidos de arsénico rara vez superan el 0,4% y como impurezas se pueden reconocer trazas de Au, Bi, Se, Cu y Zn, lo que hace que esta fase mineral sea muy homogénea en composición (Figura 3.18 y Figura 3.19). La fórmula estequiométrica promedio determinada para esta sulfosal corresponde a $(\text{Ag}_{3,17} \text{Cu}_{0,04}) \text{Sb}_{1,04} \text{S}_3$.

La miargirita (episodio E4), al igual que la pirargirita, presenta composiciones muy homogéneas (Figura 3.18 y Figura 3.19), que están dominadas por relaciones Sb/(Sb+As) cercanas a la unidad, en donde los contenidos de arsénico se ubican siempre por debajo de 0,4%. Adicionalmente, se observó la

presencia de trazas de Cu, Pb y Bi como impurezas. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para este mineral corresponde a $\text{Ag}_{1,06}\text{Sb}_{1,02}\text{S}_2$.

La freieslebenita (episodio E2) está caracterizada por una composición bastante cercana a la composición teórica de este mineral (Figura 3.18 y Figura 3.19), presentando únicamente cantidades

Figura 3.18. Química mineral

| | Plata Nativa (n=3) | | | Tetraedrita (n=65) | | | Pirargirita (n=27) | | | Miargirita (n=15) | | |
|----------|--------------------|------|--------|--------------------|------|--------|--------------------|------|--------|-------------------|------|--------|
| Elemento | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max |
| S W% | 0,2 | 0,0 | 0,60 | 21,5 | 19,4 | 23,90 | 16,8 | 16,3 | 17,42 | 20,9 | 20,4 | 21,33 |
| Fe W% | 0,0 | 0,0 | 0,07 | 3,2 | 1,6 | 5,44 | 0,1 | 0,0 | 0,93 | 0,0 | 0,0 | 0,08 |
| Cu W% | 0,1 | 0,1 | 0,08 | 19,6 | 13,7 | 28,36 | 0,5 | 0,1 | 3,98 | 0,3 | 0,1 | 1,32 |
| Zn W% | 0,0 | 0,0 | 0,05 | 3,4 | 1,2 | 9,33 | 0,2 | 0,0 | 0,78 | 0,1 | 0,0 | 0,17 |
| As W% | 0,1 | 0,0 | 0,30 | 0,4 | 0,0 | 2,49 | 0,2 | 0,0 | 0,41 | 0,2 | 0,0 | 0,38 |
| Se W% | 0,2 | 0,2 | 0,22 | 0,1 | 0,0 | 2,21 | 0,1 | 0,0 | 0,23 | 0,1 | 0,0 | 0,32 |
| Ag W% | 99,1 | 97,5 | 99,93 | 25,2 | 13,7 | 33,75 | 59,7 | 53,5 | 62,17 | 37,2 | 34,9 | 41,29 |
| Sb W% | 0,0 | 0,0 | 0,01 | 26,4 | 23,2 | 28,92 | 22,0 | 19,9 | 24,15 | 40,6 | 39,6 | 41,72 |
| Te W% | 0,2 | 0,2 | 0,16 | 0,1 | 0,0 | 0,17 | 0,1 | 0,0 | 0,19 | 0,1 | 0,0 | 0,20 |
| Au W% | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,1 | 0,0 | 0,33 | 0,1 | 0,0 | 0,37 | 0,1 | 0,0 | 0,28 |
| Hg W% | 0,1 | 0,1 | 0,05 | 0,1 | 0,0 | 2,05 | 0,0 | 0,0 | 0,16 | 0,0 | 0,0 | 0,00 |
| Pb W% | 0,0 | 0,0 | 0,11 | 0,1 | 0,0 | 0,24 | 0,1 | 0,0 | 0,19 | 0,1 | 0,0 | 0,23 |
| Bi W% | 0,1 | 0,1 | 0,09 | 0,1 | 0,0 | 0,22 | 0,1 | 0,0 | 0,21 | 0,0 | 0,0 | 0,11 |
| Sum W% | 99,8 | 99,3 | 100,16 | 100,1 | 97,6 | 102,36 | 99,7 | 97,4 | 102,05 | 99,6 | 98,2 | 102,40 |

| | Polibasita (n=21) | | | Freieslebenita (n=4) | | | Bournonita (n=2) | | | Pirita (n=10) | | |
|----------|-------------------|------|--------|----------------------|------|-------|------------------|-------|--------|---------------|------|--------|
| Elemento | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max |
| S W% | 13,1 | 11,6 | 14,78 | 18,2 | 18,1 | 18,35 | 19,6 | 19,4 | 19,83 | 53,3 | 52,0 | 54,20 |
| Fe W% | 0,3 | 0,0 | 1,20 | 0,0 | 0,0 | 0,13 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 45,6 | 44,6 | 46,55 |
| Cu W% | 4,8 | 3,2 | 6,62 | 1,1 | 0,6 | 1,69 | 12,9 | 12,6 | 13,07 | 0,5 | 0,1 | 1,27 |
| Zn W% | 0,1 | 0,0 | 0,66 | 0,3 | 0,2 | 0,39 | 0,7 | 0,1 | 1,27 | 0,1 | 0,0 | 0,24 |
| As W% | 1,1 | 0,2 | 2,67 | 0,1 | 0,1 | 0,21 | 0,1 | 0,0 | 0,14 | 0,1 | 0,0 | 0,40 |
| Se W% | 2,4 | 0,0 | 4,86 | 0,1 | 0,0 | 0,10 | 0,3 | 0,0 | 0,52 | 0,1 | 0,0 | 0,41 |
| Ag W% | 68,7 | 55,3 | 74,32 | 27,1 | 26,7 | 27,63 | 0,1 | 0,1 | 0,20 | 0,1 | 0,0 | 0,18 |
| Sb W% | 8,7 | 6,2 | 11,15 | 27,3 | 26,5 | 27,75 | 25,6 | 25,1 | 26,05 | 0,1 | 0,0 | 0,28 |
| Te W% | 0,1 | 0,1 | 0,19 | 0,1 | 0,1 | 0,09 | 0,3 | 0,2 | 0,45 | 0,0 | 0,0 | 0,09 |
| Au W% | 0,0 | 0,0 | 0,19 | 0,2 | 0,0 | 0,47 | 0,2 | 0,0 | 0,36 | 0,0 | 0,0 | 0,30 |
| Hg W% | 0,0 | 0,0 | 0,12 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,1 | 0,0 | 0,18 |
| Pb W% | 0,0 | 0,0 | 0,13 | 25,0 | 23,5 | 26,31 | 42,0 | 41,9 | 42,05 | 0,3 | 0,2 | 0,83 |
| Bi W% | 0,0 | 0,0 | 0,13 | 0,1 | 0,0 | 0,11 | 0,1 | 0,1 | 0,12 | 0,1 | 0,0 | 0,25 |
| Sum W% | 99,5 | 81,8 | 103,61 | 99,5 | 98,8 | 99,87 | 101,8 | 101,0 | 102,56 | 100,5 | 99,2 | 101,27 |

| | Arsenopirita (n=10) | | | Calcopirita (n=13) | | | Galena (n=14) | | | Esferalerita (n=23) | | |
|----------|---------------------|------|--------|--------------------|------|--------|---------------|------|--------|---------------------|------|--------|
| Elemento | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max | Promedio | Mín | Max |
| S W% | 21,1 | 20,4 | 21,79 | 34,8 | 33,8 | 35,56 | 13,5 | 12,9 | 15,48 | 33,2 | 32,3 | 34,06 |
| Fe W% | 33,9 | 33,0 | 34,61 | 29,2 | 25,9 | 30,06 | 0,0 | 0,0 | 0,30 | 2,7 | 0,3 | 5,13 |
| Cu W% | 0,1 | 0,0 | 0,67 | 34,0 | 30,6 | 35,16 | 0,4 | 0,0 | 1,12 | 0,2 | 0,0 | 0,64 |
| Zn W% | 0,1 | 0,0 | 0,27 | 0,1 | 0,0 | 0,19 | 0,2 | 0,0 | 0,47 | 63,2 | 60,0 | 65,43 |
| As W% | 41,1 | 39,1 | 42,81 | 0,0 | 0,0 | 0,06 | 0,0 | 0,0 | 0,10 | 0,0 | 0,0 | 0,18 |
| Se W% | 0,1 | 0,0 | 0,30 | 0,0 | 0,0 | 0,15 | 0,1 | 0,0 | 0,27 | 0,0 | 0,0 | 0,20 |
| Ag W% | 0,1 | 0,0 | 0,99 | 0,1 | 0,0 | 0,56 | 0,3 | 0,1 | 0,62 | 0,1 | 0,0 | 0,52 |
| Sb W% | 1,4 | 0,3 | 2,70 | 0,0 | 0,0 | 0,22 | 0,4 | 0,0 | 1,59 | 0,1 | 0,0 | 0,37 |
| Te W% | 0,0 | 0,0 | 0,11 | 0,0 | 0,0 | 0,12 | 0,1 | 0,0 | 0,19 | 0,0 | 0,0 | 0,08 |
| Au W% | 0,1 | 0,0 | 0,34 | 0,0 | 0,0 | 0,07 | 0,0 | 0,0 | 0,19 | 0,0 | 0,0 | 0,00 |
| Hg W% | 0,1 | 0,0 | 0,13 | 0,1 | 0,0 | 0,18 | 0,0 | 0,0 | 0,00 | 0,2 | 0,0 | 1,07 |
| Pb W% | 0,1 | 0,0 | 0,26 | 0,1 | 0,0 | 0,25 | 84,9 | 79,6 | 87,26 | 0,1 | 0,0 | 0,25 |
| Bi W% | 0,1 | 0,0 | 0,17 | 0,1 | 0,0 | 0,15 | 0,1 | 0,0 | 0,16 | 0,1 | 0,0 | 0,19 |
| Sum W% | 98,2 | 95,9 | 100,00 | 99,6 | 98,8 | 100,21 | 100,4 | 98,4 | 102,90 | 99,9 | 97,6 | 101,61 |

Composición promedio, máxima y mínima de las fases minerales argentíferas analizadas por microsonda electrónica (Anexo IV). Todos los datos están expresados en porcentaje en peso.

menores de Cu que pueden alcanzar valores de hasta 1,7%. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para esta sulfosal corresponde a $(\text{Ag}_{1,3}, \text{Cu}_{0,09})\text{Pb}_{0,6}\text{Sb}_{1,19}\text{S}_3$.

La bournonita del episodio E4 presenta una composición muy aproximada a la composición teórica para esta fase mineral (Figura 3.18), que es acompañada por cantidades menores de Zn, Ag y Te. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para este mineral corresponde a $\text{Cu}_{0,99}\text{Pb}_{0,99}\text{Sb}_{1,03}\text{S}_3$.

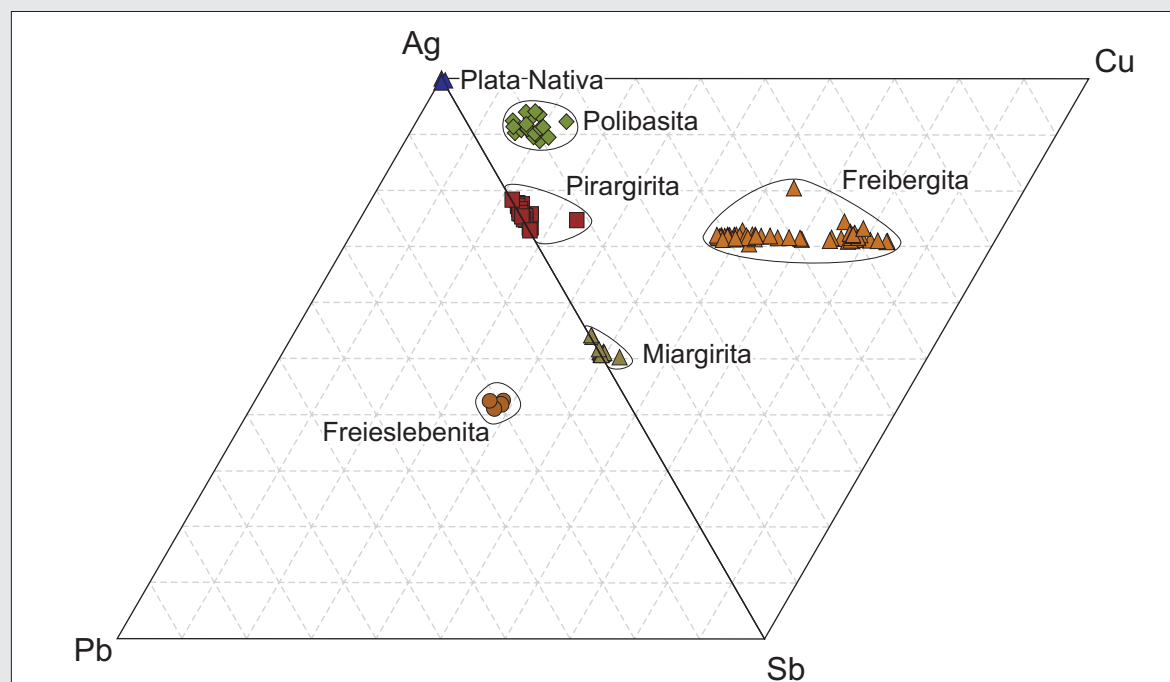
Pasando a la composición de los sulfuros, la química de las esfaleritas es muy similar a lo largo de todo el episodio E2 (Figura 3.18), presentando escasas variaciones entre el centro y los bordes de los cristales. Los análisis arrojaron contenidos de Fe que varían entre 0,3 y 5,1%, pero que muestran una moda alrededor de 2,5% Fe. También se registraron anomalías en los contenidos de Hg, Ag, Sb, Cu, Pb y Bi. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para este sulfuro corresponde a $(\text{Zn}_{0,93}, \text{Fe}_{0,05})\text{S}$.

La galena presenta poca variación composicional entre los pulsos analizados (P2, P3 y P4, Figura 3.18), sin embargo las correspondientes al pulso P3 presentan anomalías en selenio de entre 0,23 y 0,27%, lo que permite distinguirlas de las pertenecientes de los otros pulsos mineralizantes. Fuera de esta diferencia, las tres generaciones de galena se caracterizan por contenidos relativamente bajos en plata que varían entre 0,3% y 0,6%, que son acompañados por anomalías en Sb, Te, Bi y Sb en todos los pulsos. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para este sulfuro corresponde a $\text{Pb}_{0,98}\text{S}$.

La calcopirita presenta composiciones muy homogéneas en todos los pulsos considerados (P2, P3 y P4), y en todos los casos muestra anomalías en Hg y Bi que en general no superan el 0,3%. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para este mineral corresponde a $\text{Fe}_{0,96}\text{Cu}_{0,98}\text{S}_2$.

La pirita presenta variaciones composicionales en función del pulso mineralizante en la que se encuentre (Figura 3.18), la primer generación de piritas (pulso P2) no presentan anomalías significativas en ninguno de los elementos considerados. Sin embargo, la segunda generación (pulso P4) está caracterizada por contenidos de Cu que pueden alcanzar valores de hasta 1,27% y que son

Figura 3.19. Química mineral



Variaciones composicionales de las fases minerales argentíferas presentes en Mina Martha dentro del sistema Ag-Sb-Cu-Pb.

acompañadas por anomalías en Au de hasta 0,3%. En ambos casos se observaron trazas de Pb y Bi, con valores que oscilan entre 0,15 y 0,83% para el plomo y que llegan hasta 0,25% para el bismuto. La fórmula estequiométrica promedio corresponde a $\text{Fe}_{0,98}\text{S}_2$.

Por último, la arsenopirita perteneciente al pulso P4 presenta anomalías en antimonio y oro (Figura

Figura 3.20. Mineralogía Secundaria

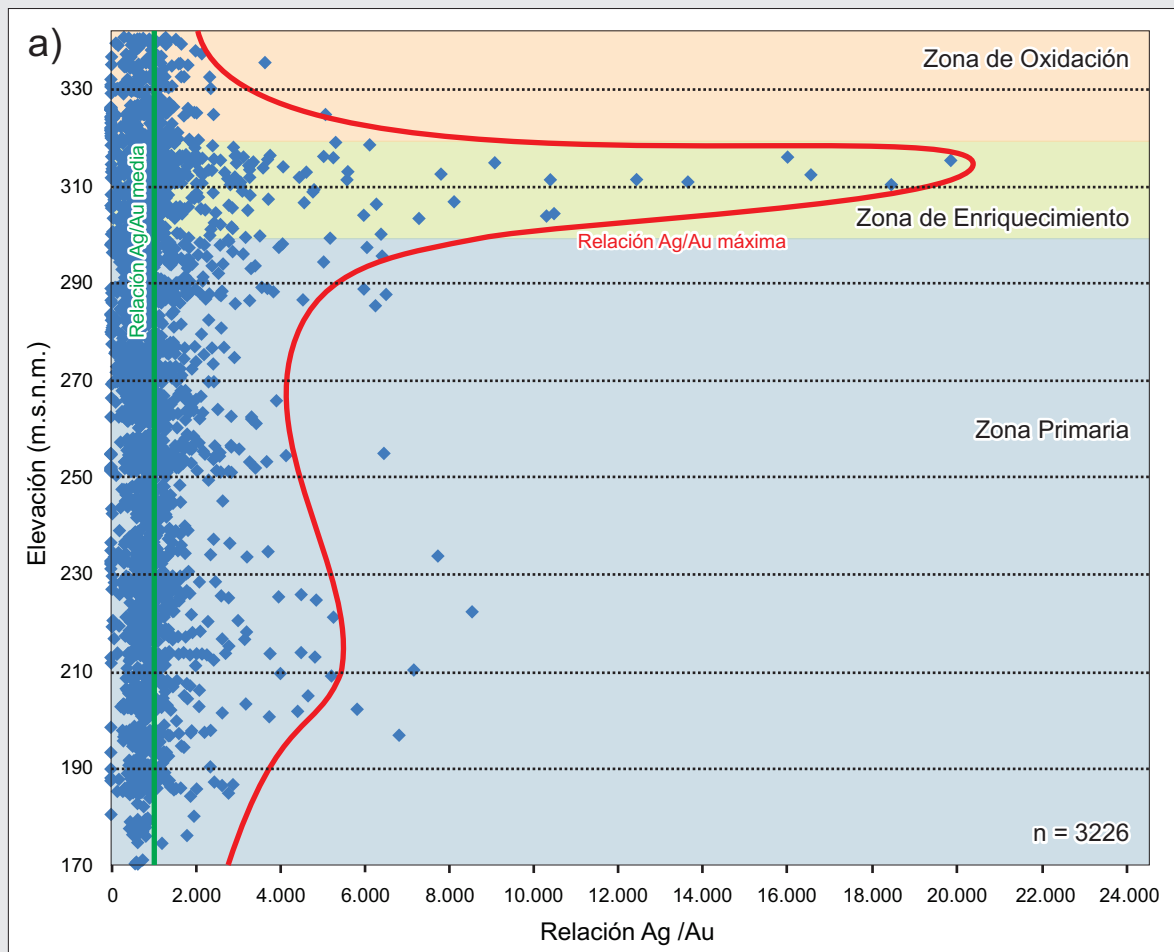
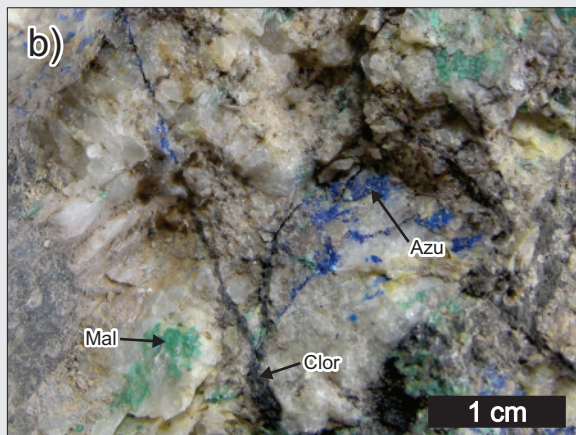
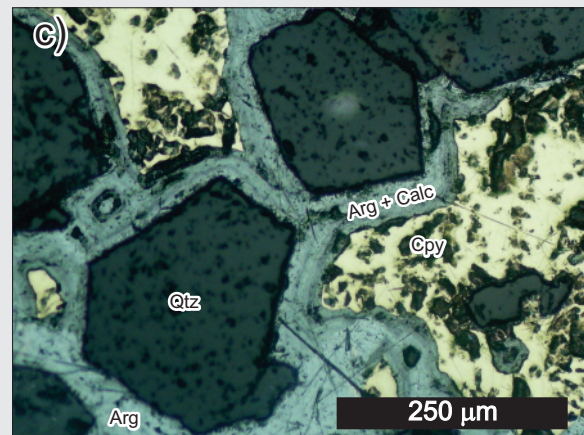


Gráfico mostrando la variación de la relación Ag/Au en función de la profundidad. La curva roja representa los valores máximos registrados, mientras que la curva verde muestra la relación promedio del yacimiento.



Detalle de la mineralogía presente en la zona de oxidación. Vetillas de clorargirita (Clor), malaquita (Mal) y azurita (Azu), cortando a una veta de cuarzo posiblemente perteneciente al pulso P7.



Texturas de reemplazo en la zona de enriquecimiento, calcopirita parcialmente reemplazada por un arreglo finamente laminado de argentita y calcosina. Microfotografía con luz reflejada

3.18), con valores de Sb que oscilan entre 0,3 y 2,7%, y contenidos de Au que alcanzan valores de hasta 0,3%. La fórmula estequiométrica promedio obtenida para este sulfuro corresponde a $\text{Fe}_{0,9}\text{As}_{0,8}\text{S}$.

3.5.3. Mineralogía secundaria

Los niveles más superficiales de la mineralización se caracterizan por una asociación mineral secundaria que enmascara y oscurece las texturas primarias de la mineralización, haciendo prácticamente imposible la identificación de los pulsos mineralizantes descritos anteriormente.

Al analizar los contenidos de Ag y Au en función de la profundidad, se puede observar la presencia de un nivel de oxidación de alrededor de 20 m de profundidad (340 a 320 m.s.n.m.), que es seguido por una pequeña zona de enriquecimiento supergénico que se desarrolla entre los 320 y 300 metros sobre el nivel del mar (Figura 3.20a). Esta zona está caracterizada por un marcado aumento en los valores máximos de la relación Ag/Au, que dentro de este sector puede alcanzar valores superiores a 20.000:1 (Figura 3.20a).

Gonzalez Guillot *et al.* (2004) y Sims (2010) realizaron una caracterización de las zonas de oxidación y enriquecimiento, mencionando para la primera de ellas una asociación mineral dominada por la presencia de limonitas ($\text{FeO}(\text{OH}) \cdot n\text{H}_2\text{O}$), jarosita ($\text{KFe}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$), clorargirita/embolita ($\text{Ag}(\text{Br}, \text{Cl})$), plata nativa (Ag°), malaquita ($\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$), azurita ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$), cerusita (PbCO_3), boleita ($\text{KPb}_{26}\text{Ag}_9\text{Cu}_{24}\text{Cl}_{62}(\text{OH})_{48}$) y plumbojarosita ($\text{PbFe}_6(\text{SO}_4)_4(\text{OH})_{12}$) que se presenta principalmente tapizando fracturas y cavidades (Figura 3.20b). A diferencia de la anterior, la zona de enriquecimiento se compone principalmente por argentita/acantita (Ag_2S), pirargirita (Ag_3SbS_3), plata nativa (Ag°), calcosina (Cu_2S), digenita (Cu_9S_5), covelina (CuS) y cantidades menores de bornita (Cu_5FeS_4) y spionkopita ($\text{Cu}_{1,4}\text{S}$), que se encuentran reemplazando parcialmente a las fases primarias (Figura 3.20c), rellenando cavidades o bien formando vetillas finas.

3.6. Caracterización de las alteraciones

Mina Martha se caracteriza por un halo de alteración restringido, cuyos efectos pueden ser identificados a una distancia que en general no supera los 5 a 15 m desde la pared de las vetas (Figura 3.19a, b y c); sin embargo, en algunos casos las partes distales del halo de alteración pueden superar los 50 m desde el contacto con las vetas.

Las variaciones en la intensidad y en el tipo de alteración observadas en las rocas de caja de la mineralización fueron estudiadas tanto en superficie como en profundidad. Para esto, se realizaron cortes delgados, análisis de DRX y espectroscopía SWIR, en 6 intersecciones a distintas profundidades, sobre perforaciones que cortan las vetas R4, Belén y Catalina (Figura 3.3a). Para completar el esquema de alteraciones, la información obtenida fue integrada con datos aportados por Baluz *et al.* (2010) y Cedillo Frey (2009), sobre dos perfiles de superficie realizados sobre las vetas Futuro y Martha Oeste (Figura 3.3a).

La mayoría de las rocas volcánicas que alojan la mineralización (ver Capítulo 2) están intensamente alteradas, con la mayoría de los minerales ígneos (a excepción del cuarzo) reemplazados por fases secundarias. Sin embargo, la textura original de las rocas es reconocible en la mayoría de los casos, salvo en los sectores más próximos a las vetas donde el grado de reemplazo es total. A continuación se

presenta una sucinta descripción de la ocurrencia y distribución de las fases minerales reconocidas durante el estudio de los difractogramas, espectros infrarrojos y secciones delgadas de las rocas alteradas.

Cuarzo: El cuarzo representa, por lejos, el mineral de alteración más común dentro del halo de alteración presente en Mina Martha. El contenido de cuarzo aumenta progresivamente con la proximidad a los cuerpos mineralizados (Figura 3.21a), pudiendo superar ampliamente el 50 % en volumen de las rocas alteradas. El cuarzo se presenta mayormente reemplazando la matriz de las rocas de caja (Figura 3.21d), ocurriendo como granos microscópicos intercrecidos con adularia, albita, illita, esmectita y pirita. También se lo puede observar rellenando cavidades, o bien reemplazando a cristaloclastos de plagioclasas y feldespatos, junto con adularia (Figura 3.21e).

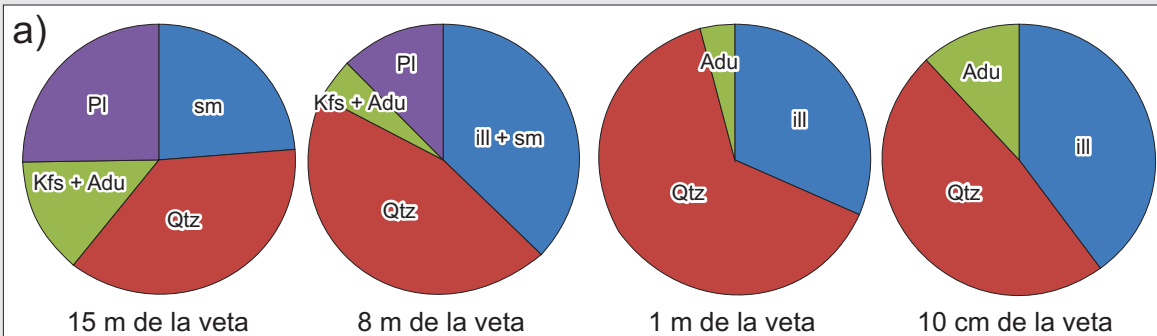
Adularia y albita: Desde la pared de la veta y hasta los 5-10 cm del contacto (Figura 3.21b), se puede observar una zona de alteración intensa dominada por abundante adularia (KA/Si_3O_8) y cantidades variables de albita ($NaAl/Si_3O_8$), a las que se asocian cuarzo, sericita (illita con una elevada cristalinidad) y pirita (Figura 3.21d). Es común que este tipo de alteración oblitere las texturas originales de la roca y produzca el reemplazo total de las fases minerales originales (Figura 3.21d). Este tipo de alteración se observa únicamente asociada a los pulsos ricos en sulfuros (Episodio E2, Figura 3.21b).

Una segunda forma en la que puede presentarse la adularia corresponde a cuando este mineral se asocia en forma subordinada a la illita (Figura 3.21e) en el contacto con estructuras pobres en sulfuros (Figura 3.21c), o bien a continuación de la zona descrita en el párrafo anterior (Figura 3.21b). De esta manera, el contenido suele ser mucho menor y aumenta progresivamente hacia la estructura, pero sin llegar a obliterar completamente las texturas originales de las rocas de caja (Figuras 3.21a, c y e). En estos casos, la adularia se presenta como agregados microscópicos en la matriz de las ignimbritas, o bien como reemplazo de los cristaloclastos de biotita, plagioclasas y feldespatos alcalinos (Figuras 3.21e).

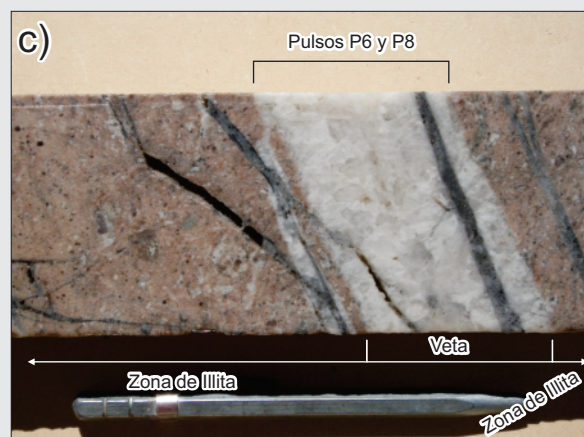
Illita y esmectita: La illita $((K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)])$ y la esmectita $((Na,Ca)_{0,3}(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2n(H_2O))$, junto con el cuarzo, corresponden a las fases minerales mejor representadas en el halo de alteración del yacimiento. Ambos filosilicatos se presentan como fases discretas, sin el desarrollo de interestratificados entre ambas especies, que se originaron como producto del reemplazo de vitroclastos (pómez y trizas) y cristaloclastos (plagioclasas, feldespatos alcalinos, biotitas y anfíboles) presentes en las rocas de caja (Figura 3.21e y f). El contenido general de arcillas aumenta progresivamente con la proximidad a los cuerpos mineralizados (Figura 3.21a), pudiendo representar hasta el 45 % en volumen de las rocas alteradas.

La illita se presenta formando la parte interna del halo de alteración del yacimiento (Figura 3.21a, e y f), formando una zona que se extiende desde el contacto con las vetas hasta una distancia que puede variar entre 5 y los 8 m. Dentro de esta zona, la cristalinidad de esta arcilla aumenta progresivamente hacia la veta indicando un aumento en el tamaño de grano de los individuos y una consecuente mejora en la morfología de los cristales, hasta formar sericita en las partes más cercanas a las vetas (Figura 3.21d, e y f).

La esmectita se presenta en las partes más externas del halo de alteración (Figura 3.21a), formando una zona que se extiende a partir de los 8 a 10 m desde el contacto con la veta. Determinaciones mediante microscopía electrónica y microsonda realizadas por Baluz *et al.* (2010) indican que se trata de una esmectita rica en aluminio (montmorillonita), con una geometría en escamas subedrales y un

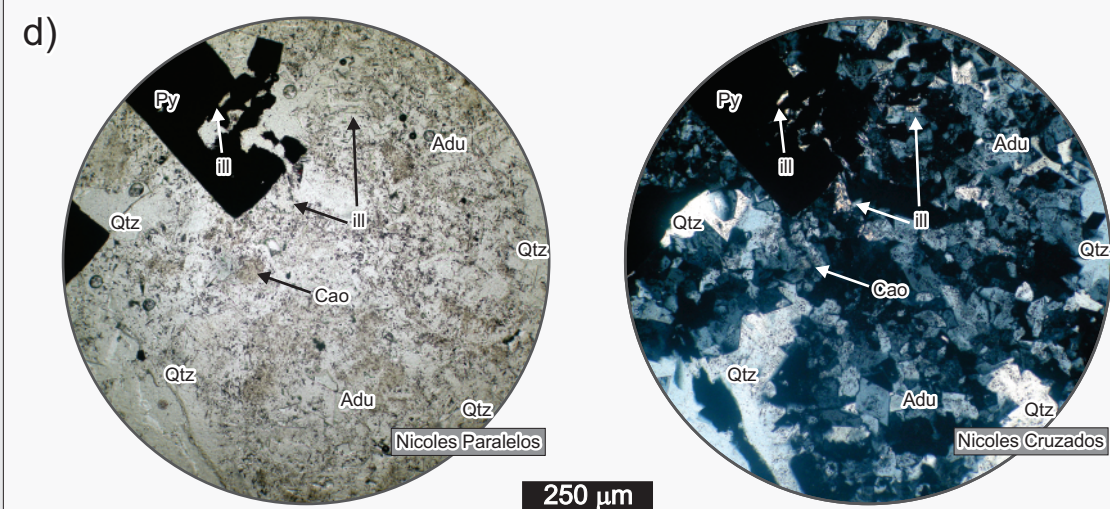
Figura 3.21. Paragénesis de Alteración

Abundancia relativa de las principales fases minerales observadas en el halo de alteración de una estructura de baja ley (veta Futuro), en función de la distancia a la veta. Referencias: sm = esmectita (hidrotermal), ill = illita (hidrotermal), kfs = feldespato alcalino (ígneo), Adu = adularia (hidrotermal), Pl = plagioclasas (ígneo), Qtz = cuarzo (ígneo + hidrotermal).

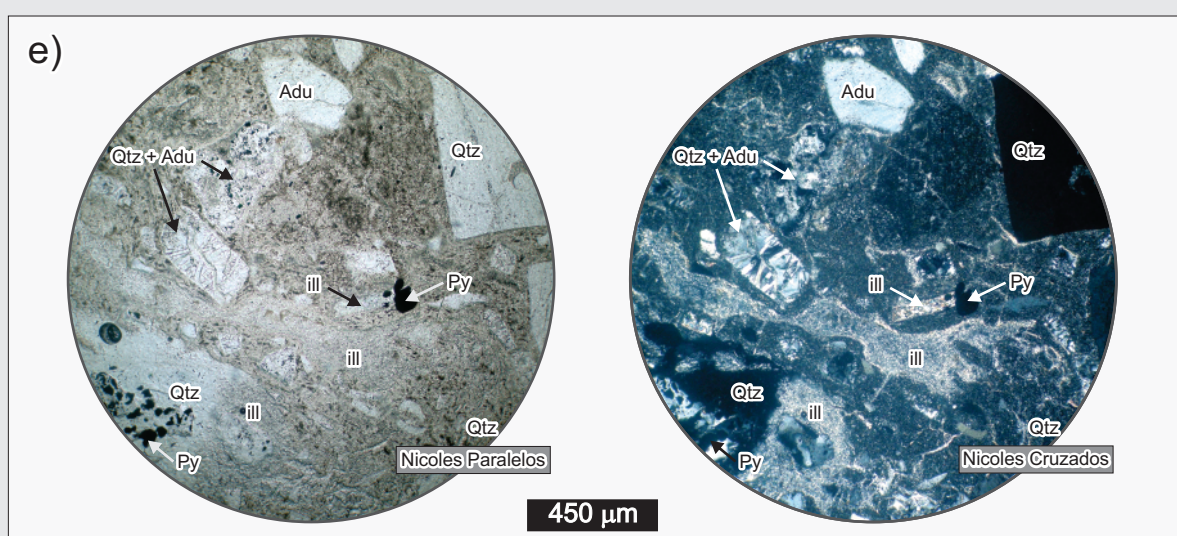


La alteración hidrotermal en las proximidades de las estructuras de alta ley se caracteriza por el desarrollo de una zona rica en adularia, cuarzo, sericita (illita), pirita y cantidades variables de albita (ver figura 3.21d). Esta zona grada lateralmente a una alteración rica en illita con cantidades variables de cuarzo y adularia (ver figura 3.21e).

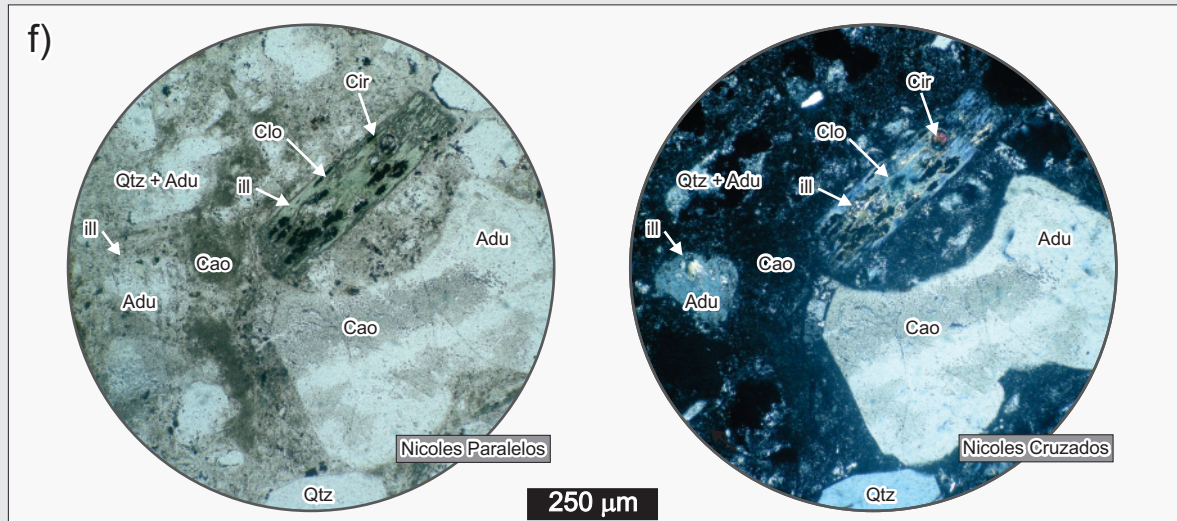
En el caso de las estructuras de baja ley, la alteración hidrotermal se caracteriza por la ausencia de la zona rica en adularia. En estos casos, la alteración que predomina es una asociación de illita con cantidades variables de cuarzo y adularia (ver figura 3.21e).



Alteración hidrotermal sobre la matriz de la Ignimbrita de Cristales (ver Capítulo 2) en una muestra tomada a 5 cm del contacto con una estructura de alta ley (veta Catalina, pozo M-512). La textura piroclástica original ha sido totalmente obliterada y reemplazada por un agregado de adularia, cuarzo, sericita/illita y pirita, que por sectores son acompañados por cantidades menores de albita. Por sectores la adularia presenta una leve alteración a caolinita (Cao). Microfotografía con luz transmitida.

Figura 3.21 (continuación). Paragénesis de Alteración

Alteración hidrotermal sobre la matriz y los cristaloclastos de la Ignimbrita de Cristales (ver Capítulo 2) en una muestra tomada a 1,5 m del contacto (veta R4, pozo M-511). A esta distancia las texturas piroclásticas todavía se preservan, aunque con un importante grado de reemplazo. En el caso de la matriz y los fiammes se observa un importante reemplazo por sericita (illita), adularia, cuarzo y piritita, mientras que los cristaloclastos de feldespato y plagioclasa presentan un reemplazo total por adularia, cuarzo y cantidades variables de sericita (illita). Microfotografía con luz transmitida.



Alteración hidrotermal sobre la matriz y los fenocristales de la Ignimbrita de Cristales (ver Capítulo 2) en una muestra tomada a 1 m del contacto (veta R4, pozo M-517). A esta distancia las texturas piroclásticas todavía se preservan, aunque con un importante grado de reemplazo. Los cristaloclastos de feldespatos están reemplazados por adularia, cuarzo e sericita (illita), mientras que las biotitas están reemplazadas por biotita, sericita (illita), opacos y adularia. Se observa una alteración tardía a caolinita sobreimpuesta sobre la adularia y la matriz. Microfotografía con luz transmitida. Referencias: Bio = biotita; Cir = circón.

contenido de $\text{Ca} > \text{Na} > \text{K}$ en la intercapa.

Finalmente, se puede reconocer una zona intermedia, desarrollada entre los 5 y 10 m desde la veta, donde cantidades menores de esmectita coexisten con la illita (Figura 3.21a y b), sin formar interestratificados entre ambas especies. En esta zona, [Baluz et al., \(2010\)](#) indican que la illita se presenta generalmente como láminas anedrales, mientras que las esmectitas presentan un hábito similar al observado en la zona más externa, pero con un contenido de $\text{Na} \sim \text{K} > \text{Ca}$ en la intercapa.

La zonación existente en la paragénesis de alteración sería el resultado de una progresiva disolución de los vitroclastos y cristaloclastos, seguida de la formación de arcillas dioctaédricas pertenecientes a la

serie illita-esmectita. La presencia de illita y esmectita como fases discretas, sin la presencia de interestratificados I/S, estaría indicando que las arcillas se formaron mediante procesos de disolución y cristalización directa a partir de los fluidos (Altaner *et al.*, 1997; Baluz *et al.*, 2010). El tipo de filosilicato presente en cada zona de alteración estaría controlado principalmente por la temperatura de los fluidos, de manera similar a lo reportado en otros sistemas hidrotermales (Altaner *et al.*, 1997; Tillick *et al.*, 2001; Simmons y Browne, 2000; Yang *et al.*, 2001).

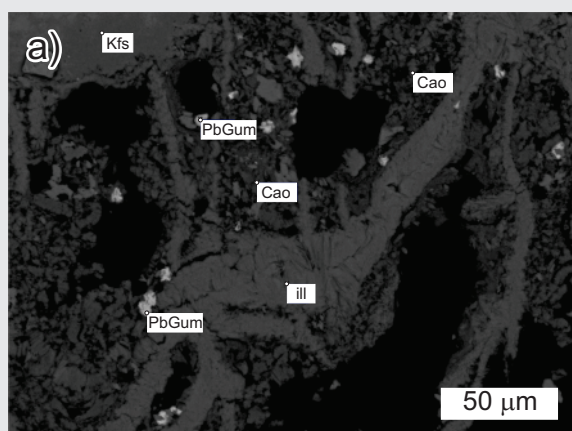
Clorita: La clorita $((Mg,Fe)_3(Si,Al)_4O_{10}(OH)_2 \cdot (Mg,Fe)_3(OH)_6)$ se presenta en forma muy discontinua, y en cantidades variables, asociada a los sectores de la alteración que presentan desarrollo de illita y esmectita. En general se presenta reemplazando a cristaloclastos de biotita junto con illita, adularia y opacos (Figura 3.21f), o bien en cantidades menores diseminada en la matriz de las ignimbritas.

Sulfuros: Los sulfuros, especialmente la piritita, conforman una parte importante del halo de alteración observado en Mina Martha. En general se presentan diseminados en la matriz de las ignimbritas (Figura 3.21d y e), o bien como reemplazo de cristaloclastos de feldespatos, plagioclasas y/o minerales máficos. El contenido general de piritita aumenta con la proximidad al contacto de las vetas, donde en algunos casos puede estar acompañada por cantidades menores de esfalerita y pirargirita.

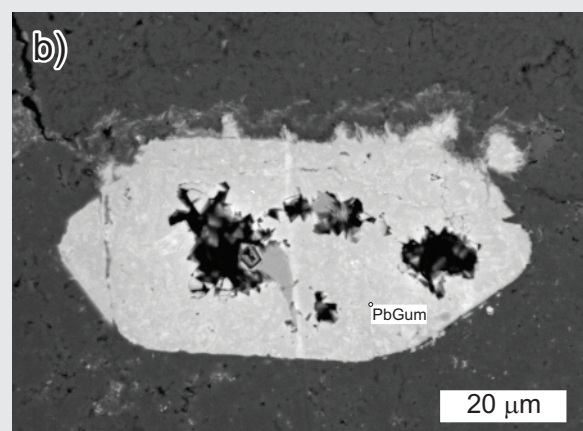
Caolinita: La caolinita $(Al_2Si_2O_5(OH)_4)$ se encuentra como una alteración tardía dentro de la paragénesis de alteración del yacimiento, y en todos los casos se trata de caolinitas de baja a muy baja cristalinidad. Esta arcilla se presenta como una leve alteración de la adularia hidrotermal (Figura 3.21d y f), como parches irregulares dentro de la matriz de las ignimbritas (Figura 3.21f), o bien como reemplazos leves dentro de cristaloclastos de feldespato alcalino volcánicos (Figura 3.22a). De acuerdo a los estudios de microsonda realizados por Cedillo Frey (2009) y Cedillo Frey *et al.* (2009), estas caolinitas se caracterizan por un bajo contenido en aluminio, un exceso de silicio y la presencia de hierro, magnesio y calcio como trazas.

Plumbogummita: La plumbogummita $(PbAl_3(PO_4)_2(OH)_5H_2O)$ es un mineral poco común perteneciente al grupo de la alunita, que se presenta en las zonas de oxidación de algunos yacimientos polimetálicos ricos en plomo (Scott, 1996; Scott, 2003; Tzvetanova, 2003). En el caso de Mina Martha, este mineral se

Figura 3.22. Paragénesis de Alteración



Asociación mineral secundaria compuesta por caolinita y plumbogummita (PbGum) reemplazando parcialmente a un fenocristal de feldespato alcalino (Kfs) con fracturas rellenas por sericita (illita). Microscopio electrónico, imagen con electrones retrodispersados.



Detalle de un cristal de plumbogummita (PbGum) de aspecto euedral desarrollado dentro de la matriz de la Ignimbrita de Cristales. Microscopio electrónico, imagen con electrones retrodispersados.

presenta formando agregados anedrales de grano muy fino dentro de fracturas, reemplazando junto con caolinita a la sericita (illita) en los bordes de los cristaloclastos de feldespatos (Figura 3.22a), o en menor medida como pequeños cristales sudaes a eudaes en la matriz de las ignimbritas (Figura 3.22b). Este fosfato fue observado por [Cedillo Frey \(2009\)](#) y [Cedillo Frey et al. \(2009\)](#) únicamente en las partes oxidadas del yacimiento, sobre un perfil realizado sobre la veta Martha Oeste.

3.7. Estudios de inclusiones fluidas e isótopos

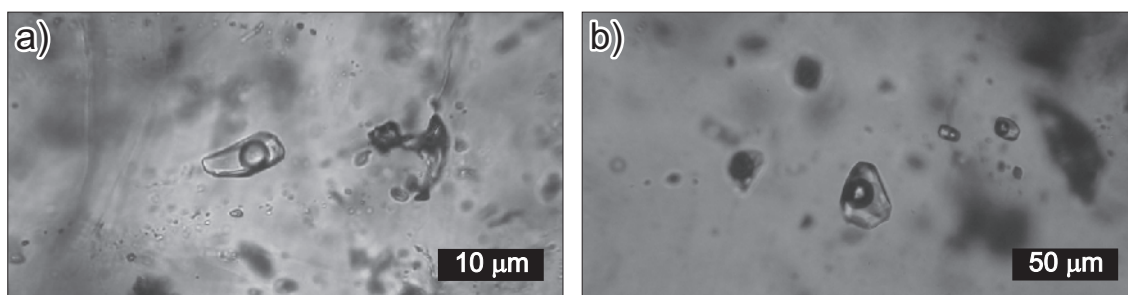
3.7.1. Inclusiones fluidas

Las inclusiones fluidas alojadas en los minerales que componen un depósito mineral conforman la única muestra directa que existe del fluido hidrotermal que le dió origen ([Bodnar et al., 1985](#); [Wilkinson, 2001](#)). De esta manera, las inclusiones fluidas nos brindan la oportunidad de estudiar las características fisicoquímicas del fluido al momento de la depositación de los minerales hidrotermales. Con este fin, el estudio microtermométrico se enfocó sobre las inclusiones fluidas primarias ([Shepherd et al., 1985](#); [Wilkinson, 2001](#)) alojadas en cristales de cuarzo y adularia (Figura 3.23a y b) pertenecientes a los principales pulsos mineralizantes (P3, P4, P5 y P6). En este marco las tareas consistieron en la obtención de temperaturas de homogenización (T_h), temperaturas de fusión final de hielo (T_m), y en la determinación de las temperaturas del eutéctico del fluido (T_e). Todas las inclusiones analizadas (18 en adularia y 21 en cuarzo, Figura 3.23c) fueron seleccionadas cuidadosamente en base a su morfología y ocurrencia dentro de los cristales hospedantes con el fin de ensayar únicamente inclusiones primarias y así obtener una mayor representatividad de los resultados.

Las muestras examinadas se caracterizan por la presencia de inclusiones primarias bifásicas (líquido + gas, Figura 3.23a y b) con geometrías regulares a ovoidales y dimensiones de pequeñas a medianas (entre 4 μm y 30 μm), que están dominadas por una elevada proporción de líquido (valores de F de entre el 75 y 90 %, Figura 3.23c). Durante los ensayos microtermométricos no se observaron evidencias que indiquen una presencia significativa de CO_2 dentro de las inclusiones analizadas, lo que sugiere un contenido de CO_2 inferior al 3,7 % en peso dentro de las inclusiones ([Hedenquist y Henley, 1985](#)).

Del análisis global de los resultados se pueden acotar las condiciones generales de temperatura y salinidad de los fluidos atrapados en las inclusiones fluidas observadas en Mina Martha (Figura 3.23c, d y e). De esta manera, los fluidos se caracterizan por T_h de entre 215,5 y 316,5 °C, con una moda alrededor de 280-290 °C (Figura 3.23d), y por salinidades de entre 0,53 y 3,55 % NaCl eq., con moda rondando 1,8-2,1 % NaCl eq. (Figura 3.23e). Por último, los valores de T_e obtenidos muestran una baja variabilidad, con temperaturas que se varían entre -23,8 y -24,7 °C (Figura 3.23c), lo que sugiere que los fluidos atrapados en las inclusiones se encuentran en equilibrio con el sistema ternario H_2O –NaCl–KCl cuya T_e teórica corresponde a -23,5 °C ([Shepherd et al., 1985](#)).

Sin embargo, cuando se analizan las variaciones de T_h y salinidad entre los distintos pulsos mineralizantes (Figuras 3.24a), se puede apreciar una progresiva disminución en la temperatura desde el Pulso 3 hasta el Pulso 6 (Figura 3.24b), mientras que la salinidad muestra un incremento del Pulso 3 al 4, para luego volver a descender en el Pulso 5 y 6 (Figura 3.24c). Estas variaciones sugieren que los fluidos variaron ligeramente sus condiciones a lo largo de la evolución del sistema hidrotermal, siguiendo un

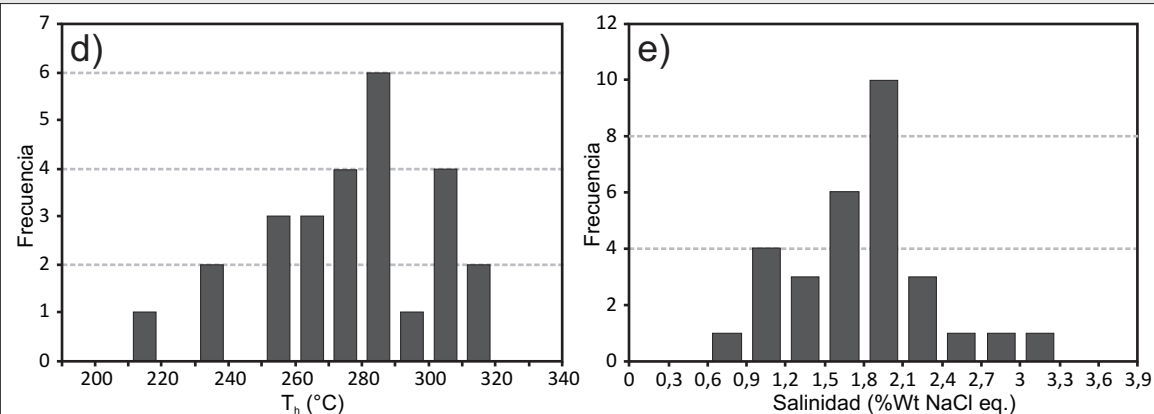
Figura 3.23. Inclusiones Fluidas

Ejemplos de las inclusiones fluidas estudiadas. a) Inclusiones en adularia del Pulso 4 (Muestra 11321); b) Inclusiones en cuarzo del Pulso 5 (Muestra 11335).

c)

| Pulso | Inclusión | Veta | N° Muestra | Mineral | Tamaño (µm) | Morfología | F | T _e (°C) | T _m (°C) | Salinidad (% NaCl eq.) | T _h (°C) |
|-------|-----------|----------|------------|----------|-------------|-------------------|------|---------------------|---------------------|------------------------|---------------------|
| P3 | P3 - 01 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 4 | Regular | 0,85 | -- | -1 | 1,74 | -- |
| P3 | P3 - 02 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 24 | Regular | 0,8 | -- | -0,6 | 1,05 | -- |
| P3 | P3 - 03 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 8 | Regular | 0,7 | -- | -0,5 | 0,88 | -- |
| P3 | P3 - 04 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 8 | Regular | 0,9 | -- | -- | -- | 281,1 |
| P3 | P3 - 05 | Catalina | Perfo Cata | Cuarzo | 6 | Ovoidal | 0,85 | -- | -0,3 | 0,53 | 270,3 |
| P3 | P3 - 06 | Catalina | Perfo Cata | Cuarzo | 10 | Ovoidal/Regular | 0,8 | -- | -0,4 | 0,7 | 307,5 |
| P3 | P3 - 07 | Catalina | Perfo Cata | Cuarzo | 12 | Irregular/Regular | 0,75 | -- | -0,4 | 0,7 | 302,6 |
| P3 | P3 - 08 | Catalina | Perfo Cata | Cuarzo | 10 | Ovoidal | 0,75 | -24,7 | -0,4 | 0,7 | 283,9 |
| P4 | P4 - 01 | Belén | 11321 | Adularia | 24 | Tubular/Regular | 0,9 | -- | -1,3 | 2,24 | 277,6 |
| P4 | P4 - 02 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 20 | Regular | 0,9 | -- | -1 | 1,74 | 280,1 |
| P4 | P4 - 03 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 8 | Regular | 0,8 | -- | -0,7 | 1,22 | 255,5 |
| P4 | P4 - 04 | Catalina | Perfo Cata | Adularia | 8 | Regular | 0,75 | -- | -0,9 | 1,57 | 267,1 |
| P4 | P4 - 05 | R4 | 10688 | Adularia | 16 | Irregular | 0,8 | -- | -2 | 3,36 | 302,6 |
| P4 | P4 - 06 | R4 | 10688 | Adularia | 12 | Tubular/Regular | 0,8 | -- | -2,1 | 3,55 | 280,8 |
| P4 | P4 - 07 | Belén | 11321 | Cuarzo | 6 | Ovoidal | 0,8 | -- | -1,4 | 2,41 | 266,8 |
| P4 | P4 - 08 | Catalina | Perfo Cata | Cuarzo | 12 | Irregular | 0,9 | -- | -1,6 | 2,74 | -- |
| P4 | P4 - 09 | R4 | 11335 | Cuarzo | 12 | Irregular | 0,9 | -- | -0,8 | 1,4 | -- |
| P4 | P4 - 10 | R4 | 10687 | Cuarzo | 6 | Ovoidal | 0,9 | -- | -- | -- | 284,4 |
| P4 | P4 - 11 | R4 | 10688 | Cuarzo | 6 | Ovoidal | 0,9 | -- | -- | -- | 302,5 |
| P5 | P5 - 01 | Belén | 11301 | Adularia | 6 | Irregular/Regular | 0,85 | -- | -0,9 | 1,57 | Crepita a 210 |
| P5 | P5 - 02 | Belén | 11301 | Adularia | 26 | Regular | 0,9 | -24,2 | -0,9 | 1,57 | -- |
| P5 | P5 - 03 | Belén | 11301 B | Adularia | 3 | Irregular/Regular | 0,7 | -23,8 | -1,1 | 1,91 | Crepita a 220 |
| P5 | P5 - 04 | R4 | 10689 | Cuarzo | 16 | Regular/Irregular | 0,9 | -23,8 | -0,6 | 1,05 | 314,5 |
| P5 | P5 - 05 | R4 | 10689 | Cuarzo | 28 | Irregular | 0,9 | -- | -1 | 1,74 | 259,2 |
| P5 | P5 - 06 | R4 | 10689 | Cuarzo | 8 | Ovoidal | 0,9 | -- | -1,1 | 1,91 | -- |
| P5 | P5 - 07 | Belén | 11301 | Cuarzo | 12 | Ovoidal/Regular | 0,85 | -- | -1,1 | 1,91 | 239,5 |
| P5 | P5 - 08 | Belén | 11301 | Cuarzo | 18 | Regular/Ovoidal | 0,8 | -- | -0,8 | 1,4 | 316,5 |
| P5 | P5 - 09 | Belén | 11301 B | Cuarzo | 4 | Regular | 0,8 | -- | -0,8 | 1,4 | 276,5 |
| P5 | P5 - 10 | Belén | 11301 B | Cuarzo | 4 | Regular/Ovoidal | 0,8 | -- | -0,9 | 1,57 | 268,6 |
| P5 | P5 - 11 | Belén | 11301 B | Cuarzo | 16 | Ovoidal/Regular | 0,8 | -- | -- | -- | 231,8 |
| P5 | P5 - 12 | Belén | 11301 B | Cuarzo | 8 | Ovoidal | 0,8 | -- | -- | -- | 274,1 |
| P5 | P5 - 13 | Belén | 11301 B | Cuarzo | 14 | Ovoidal | 0,8 | -- | -- | -- | 284,4 |
| P5 | P5 - 14 | R4 | 11335 | Cuarzo | 24 | Regular/Ovoidal | 0,8 | -24,3 | -0,7 | 1,22 | -- |
| P5 | P5 - 15 | R4 | 11335 | Cuarzo | 6 | Regular | 0,7 | -- | -0,9 | 1,57 | -- |
| P6 | P6 - 01 | Catalina | 11324 | Adularia | 20 | Regular | 0,85 | -- | -0,7 | 1,22 | 258 |
| P6 | P6 - 02 | Catalina | 11324 | Adularia | 16 | Regular | 0,9 | -- | -0,6 | 1,05 | 291,3 |
| P6 | P6 - 03 | Catalina | 11324 | Adularia | 4 | Ovoidal | 0,9 | -- | -- | -- | 215,5 |
| P6 | P6 - 04 | Catalina | 11324 | Adularia | 6 | Ovoidal | 0,9 | -- | -0,9 | 1,57 | Crepita a 178 |
| P6 | P6 - 05 | Catalina | 11324 | Adularia | 6 | Ovoidal | 0,9 | -- | -0,9 | 1,57 | -- |

Resultados analíticos de los estudios microtermométricos realizados sobre la mineralización presente en Mina Martha. Las salinidades fueron calculadas de acuerdo a [Bodnar y Vityk \(1994\)](#).



Gráficos de barras mostrando los resultados de los estudios microtermométricos. Los valores de salinidad fueron calculados de acuerdo a [Bodnar y Vityk \(1994\)](#).

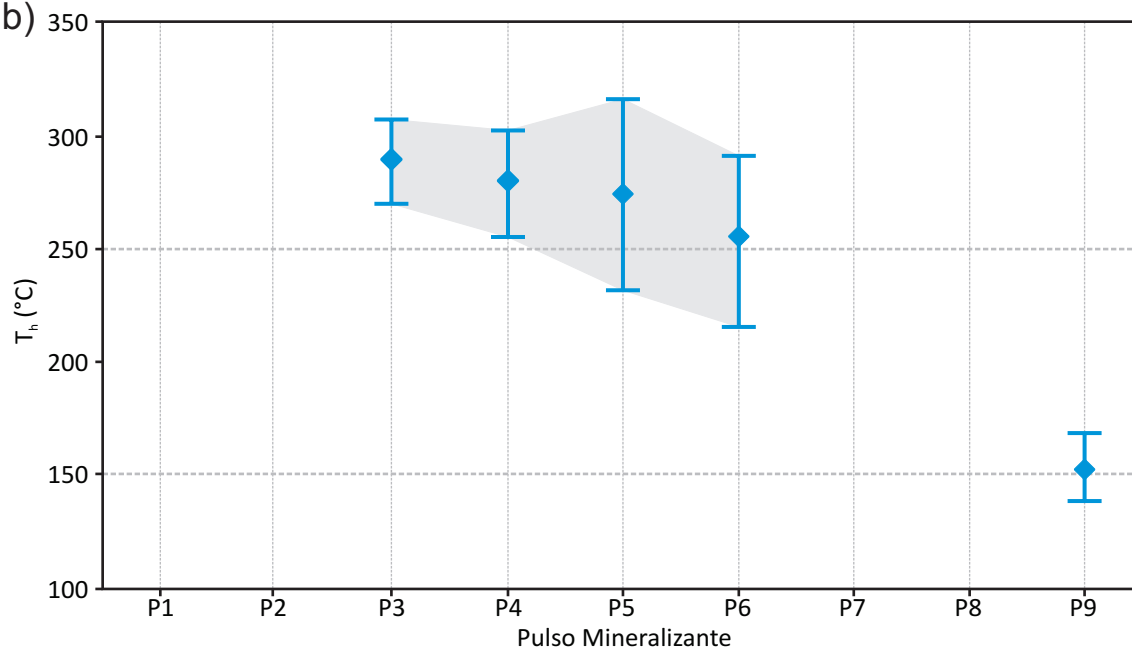
Figura 3.24. Inclusiones Fluidas

a)

| | Salinidad | | | T_h | | |
|---------|-----------|-------------|-------|-------|---------------|--------|
| | n | Min - Max | Media | n | Min - Max | Media |
| Pulso 3 | 7 | 0,53 - 1,74 | 0,90 | 5 | 270,3 - 307,5 | 289,08 |
| Pulso 4 | 9 | 1,22 - 3,55 | 2,25 | 9 | 255,5 - 302,6 | 279,71 |
| Pulso 5 | 12 | 1,05 - 1,91 | 1,57 | 9 | 231,8 - 316,5 | 273,90 |
| Pulso 6 | 4 | 1,05 - 1,57 | 1,35 | 3 | 215,5 - 291,3 | 254,93 |

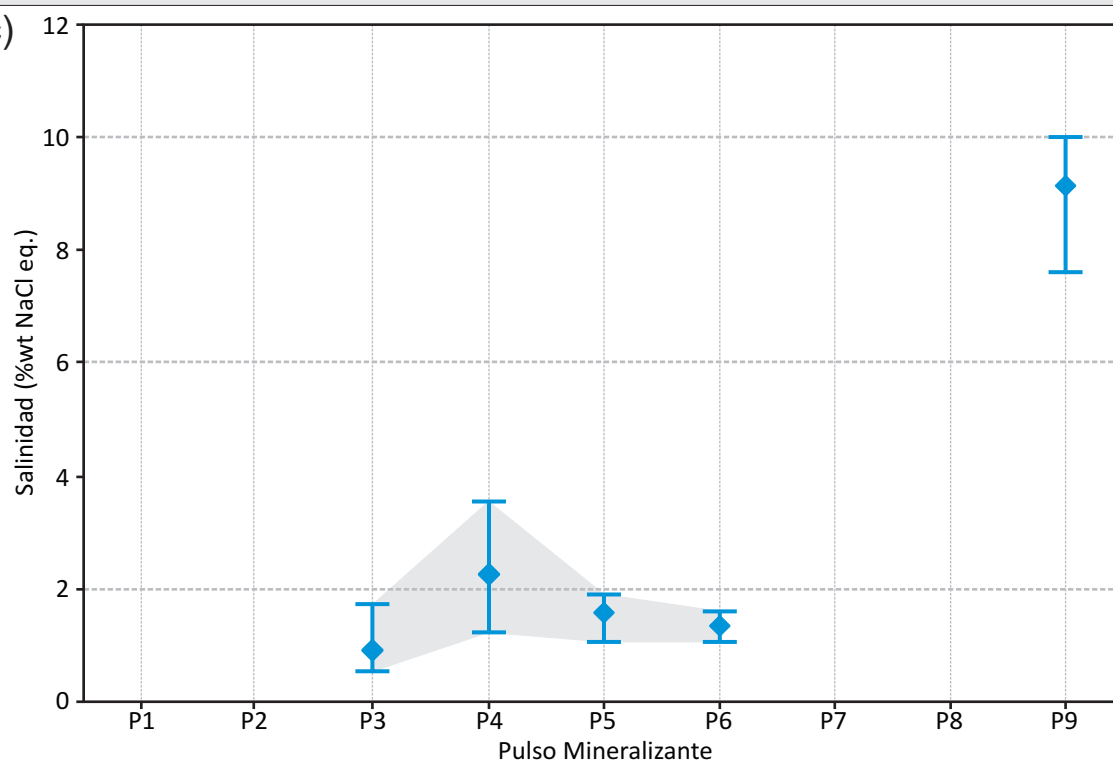
Resumen de los resultados de los estudios microtermométricos realizados sobre los distintos pulsos de la mineralización. Las salinidades fueron calculadas de acuerdo a Bodnar y Vityk (1994).

b)



Gráficos mostrando los valores máximos, promedio y mínimos de T_h para cada pulso mineralizante.

c)



Gráficos mostrando los valores máximos, promedio y mínimos de salinidad para cada pulso mineralizante.

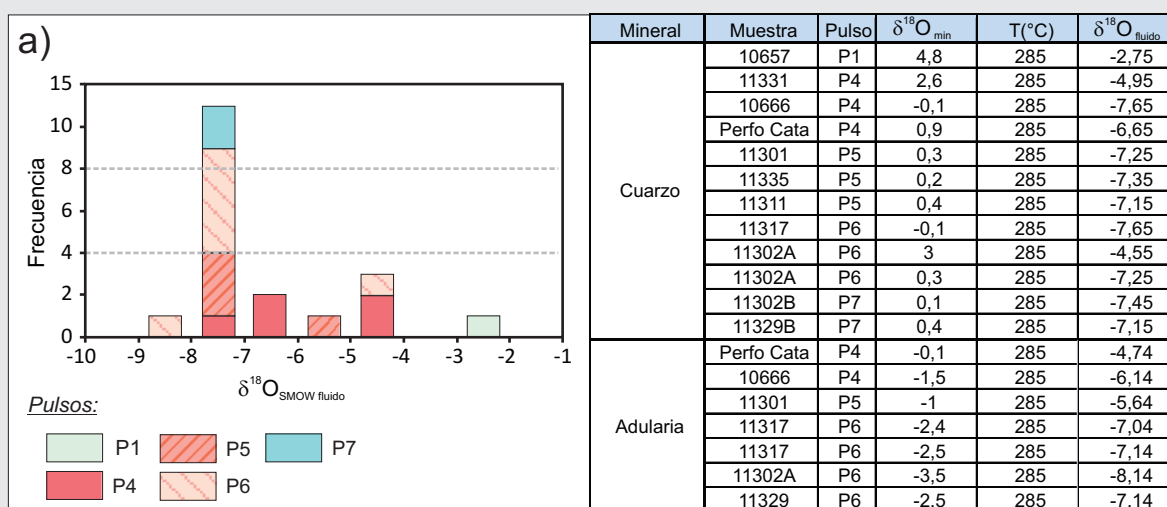
patrón general de enfriamiento progresivo con pequeños incrementos en las salinidades que se pueden correlacionar con el pulso más rico en plata.

Por último, el Pulso 9 fue caracterizado utilizando los datos obtenidos sobre inclusiones en pirargiritas por [Ríos et al. \(2006\)](#). A diferencia de los pulsos anteriores, estas muestras fueron analizadas bajo luz infrarroja (NIR-SWIR) y se caracterizan por la presencia de inclusiones bifásicas (L + G) grandes (hasta 100 μm) con formas regulares a ovoidales. Los datos aportados por [Ríos et al. \(2006\)](#) muestran valores de T_h entre 139 y 168°C (Figura 3.24b), y salinidades que oscilan entre 7,73 y 9,98 % NaCl eq. (Figura 3.24c). Estos valores son menores en temperatura y marcadamente mayores en salinidad en comparación con los registrados en los pulsos anteriores, lo que hace difícil una correlación entre ellos.

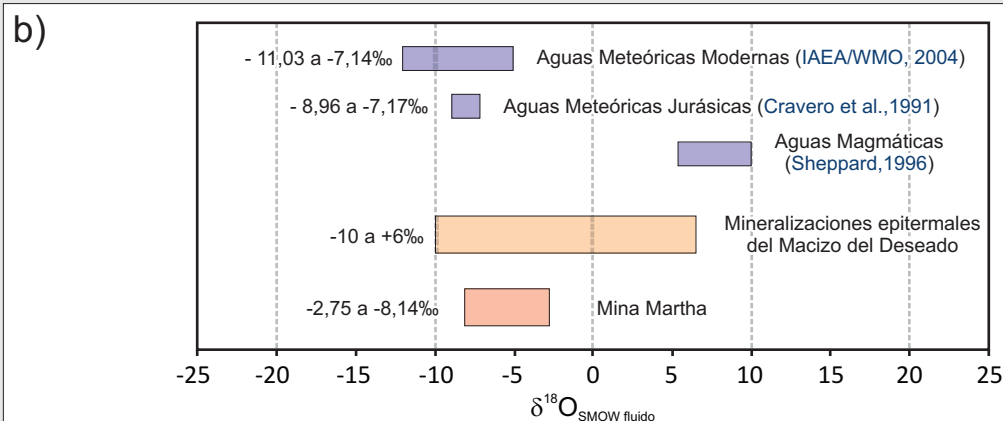
3.7.2. Isótopos estables de oxígeno

Los datos isotópicos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ obtenidos sobre cristales de cuarzo y adularia provenientes de Mina Martha (Figura 3.25a) arrojaron valores que se encuentran entre -3,5 y 4,8 ‰ (pulsos P1, P4, P5, P6 y P7). Se utilizaron estos resultados, junto con las temperaturas obtenidas mediante el estudio de inclusiones fluidas, y las fórmulas de [Zheng \(1993\)](#), para calcular los valores isotópicos de los fluidos

Figura 3.25. Isótopos estables de Oxígeno



Valores isotópicos de $\delta^{18}\text{O}$ para el cuarzo y la adularia de los principales pulsos minerales presentes en Mina Martha. Los valores de $\delta^{18}\text{O}$ para los fluidos fueron calculados de acuerdo a [Zheng \(1993\)](#).



hidrotermales en equilibrio con las fases minerales analizadas ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluido}}$). Los resultados obtenidos se caracterizan por una escasa variabilidad, con valores que oscilan entre -2,75 y -8,14 ‰, y una fuerte moda alrededor de -7,5 ‰ (Figura 3.25a).

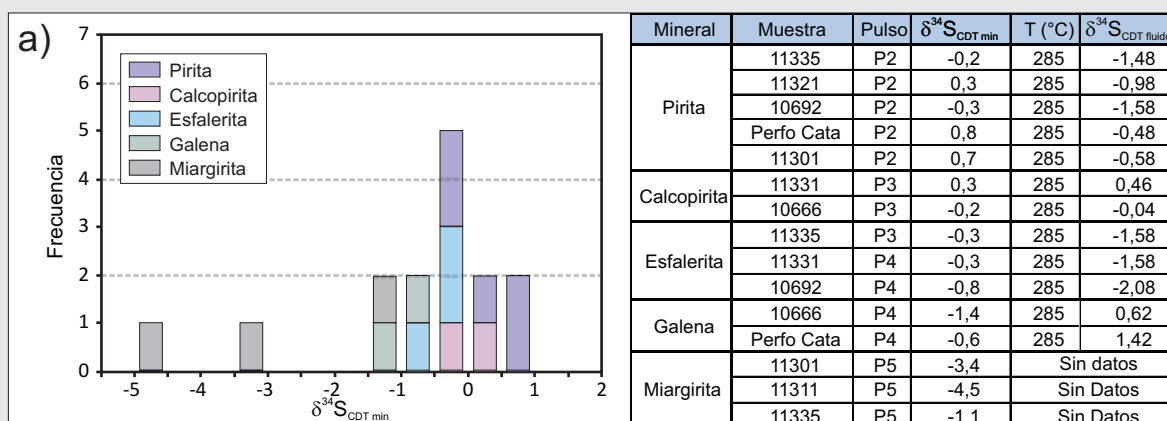
Con el fin de determinar el posible origen de los fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización, se compararon los resultados obtenidos con los valores isotópicos correspondientes a aguas magmáticas (Sheppard, 1996), aguas pluviales modernas de Patagonia (Pto. Madryn y Ushuaia, IAEA/WMO, 2008), los valores isotópicos correspondientes a los depósitos epitermales del Macizo del Deseado (Jovic, 2009), y los valores isotópicos determinados para las aguas meteóricas jurásicas obtenidas por Cravero *et al.* (1991) sobre caolinitas supergénicas provenientes del Macizo del Deseado (Figura 3.25b). De esta comparación puede observarse una similitud entre los rangos isotópicos correspondientes a las aguas meteóricas, especialmente las jurásicas, y los valores más frecuentes obtenidos en Mina Martha (Figura 3.25b), de esta manera se propone una importante componente meteórica en la composición de los fluidos que dieron origen a la mineralización. Sin embargo, los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluido}}$ más elevados se separan levemente de los correspondientes a las aguas meteóricas, sugiriendo al menos un pequeño aporte de aguas magmáticas a los fluidos hidrotermales.

En función de estas observaciones, y al considerar las variaciones de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluido}}$ a lo largo de los sucesivos pulsos mineralizantes (Figura 3.25a), puede observarse una tendencia hacia una progresiva disminución de los valores isotópicos del fluido a medida que evoluciona la secuencia paragenética. Estos cambios sugieren un paulatino descenso en la participación de las aguas magmáticas respecto a las meteóricas en las soluciones hidrotermales que dieron origen al yacimiento.

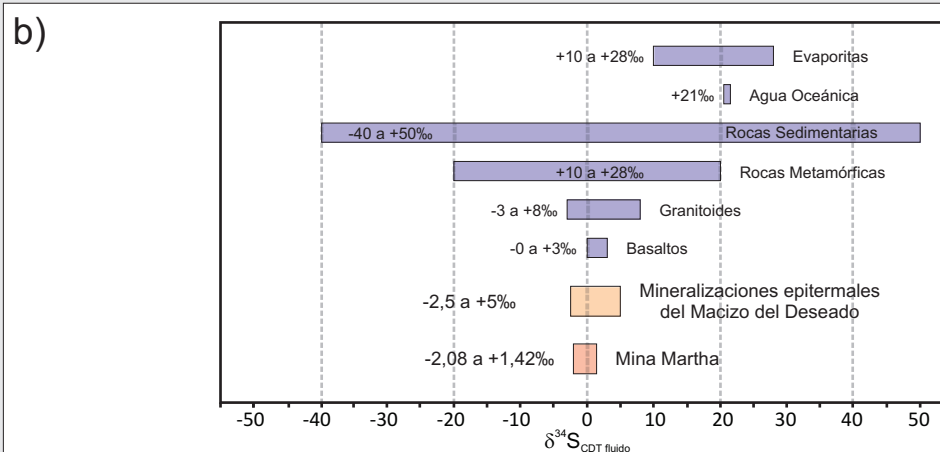
3.7.3. Isótopos estables de azufre

Los datos de $\delta^{34}\text{S}_{\text{CDT}}$ obtenidos sobre los sulfuros y sulfosales de Mina Martha (Figura 3.26a) se caracterizan por valores que oscilan entre -4,5 y 0,8 ‰ (pulsos P2, P3, P4 y P5). La escasa variabilidad observada sugiere una fuente relativamente homogénea para el azufre, donde las diferencias observadas entre las distintas especies minerales siguen la tendencia de fraccionamiento predicha por Ohmoto y Rye (1979) para materiales cogenéticos (pirita > calcopirita > esfalerita > galena, Figura 3.26a).

Los valores isotópicos correspondientes al fluido ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Fluido}}$) fueron obtenidos únicamente a partir de sulfuros ya que en la bibliografía no existen determinaciones del coeficiente de fraccionamiento isotópico en cristales de miargirita, para esto fueron utilizadas las formulas de Ohmoto y Rye (1979) y las temperaturas medias obtenidas en los estudios de inclusiones fluidas. Estas determinaciones arrojaron valores de $\delta^{34}\text{S}_{\text{Fluido}}$ de entre 1,42 y -2,08 ‰ (Figura 3.26a y b), sugiriendo un origen magmático para el azufre presente en los fluidos hidrotermales a partir del cual precipitaron los sulfuros de la mena (Hoefs, 1987). La filiación magmática sugerida por los isótopos del azufre puede deberse tanto a un aporte directo de fluidos de origen magmático, como también pueden ser el resultado del reequilibramiento de las soluciones hidrotermales al atravesar la secuencia volcánica donde se alojan las vetas, o bien a una combinación de ambos procesos (Ohmoto y Goldhaber, 1997). Sin embargo, y en función de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluido}}$ registrados, es probable que la signatura isotópica del azufre observada en Mina Martha tenga un origen vinculado a ambos procesos.

Figura 3.26. Isótopos estables de Azufre

Valores isotópicos de $\delta^{34}\text{S}$ para los principales sulfuros y sulfosales presentes en Mina Martha. Los valores de $\delta^{34}\text{S}$ para los fluidos fueron calculados de acuerdo a [Ohmoto y Rye \(1979\)](#).



Valores isotópicos de $\delta^{34}\text{S}$ para los fluidos que dieron origen a los sulfuros presentes en Mina Martha. Valores de Referencia tomados de [Hoefs \(1987\)](#) y [Jovic \(2009\)](#).

3.7.4. Edad de la mineralización

Finalmente, y con el fin de ajustar la edad de la mineralización, se realizó una determinación geocronológica por el método de $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ sobre cristales de adularia provenientes de la veta Catalina (Pulso P6). Los resultados obtenidos arrojaron una edad plateau de 156.5 ± 0.9 Ma (Figura 3.27) y una edad por isócrona de 156.4 ± 0.8 Ma (Anexo V), lo que permite ubicar a la mineralización en el Jurásico Superior, más específicamente dentro del piso Oxfordiano ([IUGS, 2010](#)).

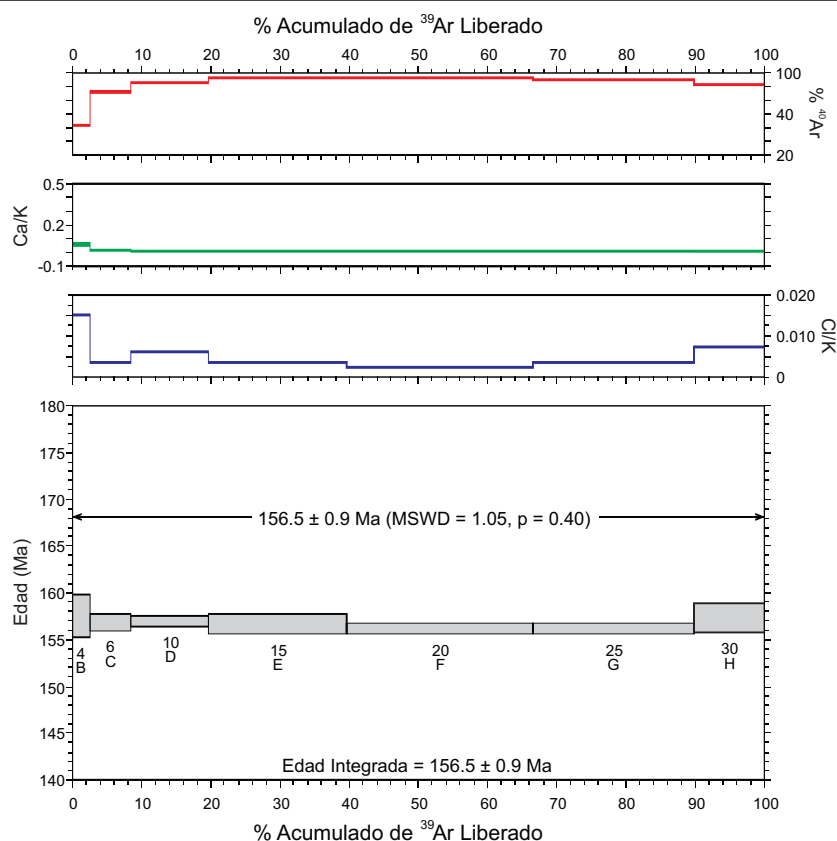
3.8. Consideraciones finales

3.8.1. Clasificación del depósito argentífero Mina Martha

En función de lo descrito en este capítulo, el yacimiento Mina Martha puede ser clasificado como un depósito epitermal clásico, similar a los descritos por [Hedenquist et al., 2000](#); [Sillitoe y Hedenquist \(2003\)](#) y [Simmons et al. \(2005\)](#) en otras partes del mundo; y por [Guido y Schalamuk \(2003\)](#), [Echavarría et al. \(2005\)](#) y [Fernández et al. \(2008\)](#) en otros sectores del Macizo del Deseado y Patagonia. A continuación se resumen las características más importantes observadas en el yacimiento (Figura 3. 28):

- 1) La mineralización forma cuerpos vetiformes de hasta 5 m de espesor y varios cientos de metros de longitud (Figura 3.3a), caracterizados por el desarrollo de texturas brechosas, bandeados costriiformes, y por la presencia de texturas masivas y en peine con tamaños de grano medios a gruesos (Figura 3.9). Estos cuerpos se asocian a fallas normales y se alojan en una secuencia volcánica compuesta por rocas piroclásticas ácidas (Figura 3.3b).
- 2) La signatura geoquímica de las vetas, cuya paragénesis de metales corresponde a Ag-Au-Cu-Pb-Zn-Sb-As, y su relación Ag/Au de alrededor de 900:1, permiten definir al yacimiento como un depósito netamente argentífero, con oro y metales base asociados (Figura 3.5).
- 3) La mena ésta compuesta por una mineralogía compleja de sulfuros de metales base (galena, calcopirita y esfalerita pobre en hierro) y sulfosales de plata y cobre (polibasita, tetraedrita-freibergita, pirargirita, miargirita, freieslebenita y bournonita), que se presentan en cantidades variables (Figuras 3.7 y 3.19), pero que pueden superar el 20 % en volumen.
- 4) La mineralogía de la ganga es relativamente sencilla, está compuesta por adularia, cuarzo, sericita (illita), y localmente puede presentar cantidades subordinadas de clorita (Figura 3.8).
- 5) Los cuerpos mineralizados están rodeados por un halo de alteración restringido, compuesto principalmente por la asociación adularia, cuarzo, sericita (illita), esmectita y cantidades menores de clorita (Figura 3.21).
- 6) Por último, los estudios de inclusiones fluidas indican que la mineralización se habría originado a partir fluidos con temperaturas de entre 215,5 y 316,5 °C (Figura 3.23d) y salinidades

Figura 3.27. Edad de la mineralización



Edad ³⁹Ar/⁴⁰Ar para cristales de adularia de la veta Catalina (Muestra 11329).

de entre 0,53 y 3,55 % NaCl eq. (Figura 3. 23e).

Al analizar detalladamente estas características, puede verse que Mina Martha comparte características en común con dos de los tres subtipos de depósitos epitermales definidos por [Hedenquist et al. \(2000\)](#), [Einaudi et al. \(2003\)](#), [Sillitoe y Hedenquist \(2003\)](#) y [Simmons et al. \(2005\)](#), los de Baja Sulfuración y los de Sulfuración Intermedia (Figura 3. 28).

La presencia de abundante adularia, tanto en las vetas como en el halo de alteración, sumada a la ausencia de carbonatos y silicatos de manganeso, y a la baja salinidad observada en las inclusiones

Figura 3.28. Características generales del yacimiento

| | Depósitos Epitermales de Baja Sulfuración | Depósito Argentífero Mina Martha | Depósito Epitermales de Sulfuración Intermedia |
|--|--|--|--|
| Volcanismo asociado | Basaltos a riolitas. | <i>Riolitas y riolacitas subalcalinas. Evidencias de mezcla de magma entre riolitas y andesitas.</i> | Principalmente andesitas a riolacitas, localmente riolitas. |
| Salinidad de los fluidos | Bajas salinidades, en general inferiores a 5% NaCl eq. | <i>Entre 0,5 y 3,5% NaCl eq.</i> | Salinidades medias a altas, en general entre 10 y 20% NaCl eq. |
| Minerales de alteración típicos | Illita/esmectita y adularia | <i>Abundante adularia, sericita (illita) y esmectita.</i> | Sericita, la adularia es poco común |
| Ganga silicática | Relleno costriforme y coloforme de calcedonia y cuarzo. Texturas de reemplazo de carbonatos. | <i>Brechas y bandeados costriformes con adularia y cuarzo de grano grueso y en peine.</i> | Bandeados costriformes con cuarzo. Texturas en peine. |
| Ganga carbonática | Presente, pero poco común y típicamente tardía. | <i>Ausente.</i> | Común, incluyendo las variedades de manganeso. |
| Otros minerales de Ganga | Baritina poco común. Fluorita puede estar presente. | <i>Ninguno</i> | Baritina, anhidrita y silicatos de manganeso pueden estar presentes. |
| Porcentaje de sulfuros | Típicamente inferior al 1-2% vol. | <i>Entre 5 y 30 % vol.</i> | 5 a >20% vol. |
| Sulfuros típicos | Cantidades muy subordinadas de arsenopirita ± pirrotina. Cantidades menores de esfalerita, galena, tetraedrita-tenantita, calcopirita. | <i>Pirita, arsenopirita, esfalerita, galena, calcopirita, tetraedrita-freibergita, polibasita, pirargirita, miargirita, argentita, freieslebenita, bournonita.</i> | Esfalerita, galena, tetraedrita-tenantita, calcopirita. |
| Composición de la Esfalerita | Rica en hierro | <i>Pobre en hierro</i> | Pobre en hierro |
| Teluros y seleniuros | Seleniuros comunes. Teluros presentes localmente. | <i>Ninguno.</i> | Teluros comunes localmente. Seleniuros poco comunes. |
| Asociación de Metales | Au ± Ag | <i>Ag ± Au, Zn, Pb, Cu</i> | Ag-Au, Zn, Pb, Cu |
| Metales accesorios | Zn, Pb, Cu, Mo, As, Hg | <i>Sb, As, Se</i> | Mo, As, Sb |
| Relación Ag/Au | En general menor a 20/1 | <i>900/1</i> | Mayor a 10/1 |

Características principales del yacimiento epitermal Mina Martha y su comparación con los depósitos epitermales de Baja Sulfuración y Sulfuración Intermedia ([Hedenquist et al., 2000](#); [Sillitoe y Hedenquist, 2003](#); [Simmons et al., 2005](#)).

fluidas corresponden a características más afines con el subtipo de baja sulfuración (Hedenquist *et al.*, 2000; Sillitoe y Hedenquist, 2003; Simmons *et al.*, 2005). Sin embargo, la elevada relación Ag/Au, sumada al elevado porcentaje de sulfuros y sulfosales, la presencia de bandeados costriformes con texturas en peine gruesas, y la presencia de abundante tetraedrita-freibergita junto con esfalerita pobre en hierro, permiten definir con seguridad al depósito epitermal Mina Martha como perteneciente al subtipo de sulfuración intermedia (Einaudi *et al.*, 2003; Sillitoe y Hedenquist, 2003; Simmons *et al.*, 2005). Esta conclusión está en concordancia con los trabajos previos realizados por Gonzalez Guillot *et al.* (2004) quienes sugirieron que Mina Martha podría tratarse de un depósito de estas características.

3.8.2. Evolución paragenética del yacimiento

En función de la mineralogía y las texturas observadas, el esquema paragenético definido para el yacimiento (Sección 3.5) puede ser subdividido en tres grandes etapas que marcaron la evolución del depósito epitermal presente en Mina Martha, una etapa hidrotermal (episodios E1 a E3), una etapa tectónica (episodio E4), y una tercera etapa supergénica postmineral.

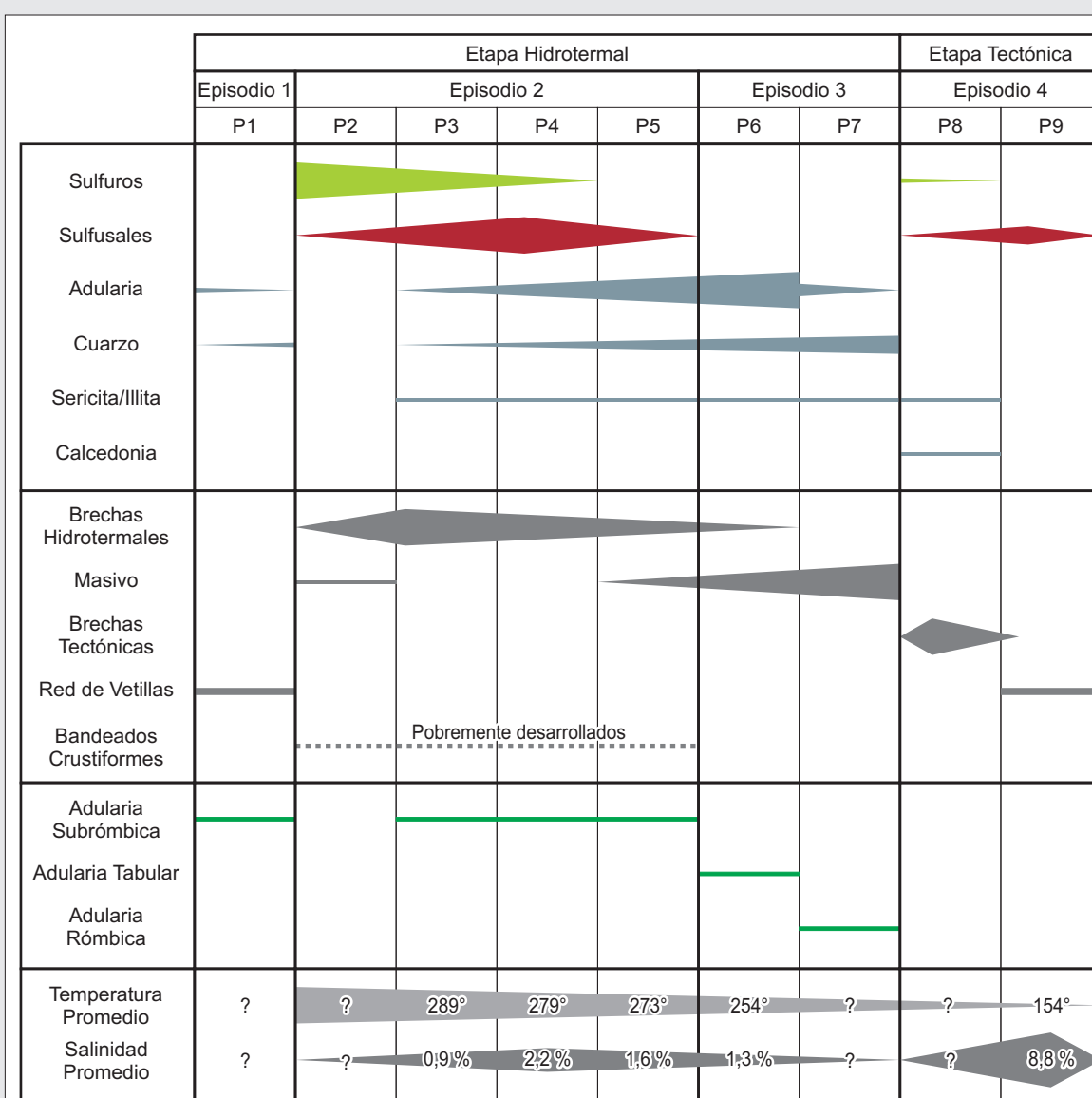
La etapa hidrotermal del yacimiento agrupa a los tres primeros episodios mineralizantes definidos para el yacimiento (Figura 3.8). La secuencia paragenética se inicia con una red de vetillas de cuarzo y adularia subrómica (E1, Figura 3.29), este episodio estéril se encuentra poco representado dentro del yacimiento.

El segundo episodio mineralizante (E2, Figuras 3.7 y 3.8) presenta una amplia distribución dentro de las estructuras mineralizadas, representa hasta el 40% en volumen y alcanza hasta 30 cm de potencia. Se caracteriza por un predominio de las texturas brechosas por sobre los bandeados costriformes (Figura 3.29), y es el principal responsable de los sectores de alta ley presentes en los tres sistemas de vetas.

Por último, se desarrolla el episodio E3 (Figuras 3.7 y 3.8), se trata de estructuras estériles de hasta 5 m de espesor, que están dominadas por texturas masivas y berchosas, ricas en adularia tabular y rómica (Figura 3.29).

La mineralización formada durante esta serie de etapas hidrotermales está dominada por una compleja asociación de sulfuros y sulfosales, a los que se asocian cantidades variables de plata nativa (Figura 3.8). Dentro de este esquema, los metales base se presentan mayormente dentro de la estructura de los sulfuros (esfalerita, calcopirita, galena), aunque el cobre también se presenta formando parte de varias sulfosales (tetraedrita, polibasita, freieslebenita, bournonita).

La plata se presenta principalmente en su forma nativa formando cristales de elevada pureza (Figuras 3.18 y 3.19). Adicionalmente, la plata entra en la estructura de cinco especies distintas de sulfosales con antimonio (polibasita, tetraedrita-freibergita, pirargirita, miargirita y freieslebenita; Figuras 3.8 y 3.19). Por último, los bajos contenidos de plata en las galenas (Figura 3.18) confirman que las altas leyes características de Mina Martha son producto del aporte de plata por parte de las sulfosales y de la plata nativa. Dentro de esta asociación mineral, los contenidos de arsénico están completamente subordinados a los de antimonio (Figura 3.18), de manera tal que la única fase con arsénico corresponde a la arsenopirita, que además se presenta en cantidades generalmente reducidas (Figura 3.8). Adicionalmente a los sulfuros mencionados, se reconocen cantidades importantes de pirita en varios de los pulsos mineralizantes.

Figura 3.29. Mineralización en Mina Martha

Cuadro resumiendo las principales características mineralógicas y texturales de los cuerpos mineralizados presentes en Mina Martha.

El oro se presenta en cantidades muy bajas dentro de la estructura de la pirita y la arsenopirita (Figura 3.8); y probablemente también como impureza dentro de los granos de plata nativa. Esta distribución explica las elevadas relaciones Ag/Au que caracterizan al yacimiento (900:1). Finalmente, cantidades menores de Se, Bi y Te fueron identificadas asociadas a varias de las sulfosales y sulfuros presentes en el yacimiento (Figura 3.8).

La evolución del esquema paragenético de la etapa hidrotermal se caracteriza por importantes variaciones en las proporciones relativas entre sulfuros y sulfosales. En líneas generales puede observarse una disminución progresiva en el contenido de sulfuros de metales base (Figura 3.29), que son reemplazados dentro de la paragénesis por una cantidad cada vez mayor de sulfosales de plata y cobre. Las sulfosales alcanzan su pico de abundancia en el pulso P4 para luego comenzar a disminuir progresivamente en importancia hasta desaparecer por completo a partir del pulso P6 (Figura 3.29). Estos cambios en la mineralogía de la mena, son acompañados por un progresivo aumento en la participación del cuarzo y la adularia rómica, que pasan de estar prácticamente ausentes al inicio, hasta

hacerse dominantes hacia el final del evento hidrotermal (Figura 3.29).

Los cambios mineralógicos anteriormente expuestos pueden correlacionarse con variaciones en las asociaciones de metales identificadas para cada pulso. El pulso P2 se caracteriza por la presencia de abundante pirita, que es acompañada por cantidades menores de galena, polibasita, argentita y plata nativa. Esta asociación mineral sugiere una asociación de metales caracterizada por Pb + Ag + Sb + Cu + Au.

El pulso P3 se caracteriza por una importante participación de fases minerales de cobre en las que no participa la plata, este es el caso de la calcopirita (34% Cu; 0,1% Ag). En este esquema la calcopirita es acompañada por cantidades importantes de galena y esfalerita, que en su conjunto hacen que las fases argentíferas (polibasita selenífera y plata nativa) estén subordinadas en volumen; de manera que se podría definir a este pulso como formado por una paragénesis de Pb + Zn + Cu + Ag + Sb + As + Se + Au.

A diferencia del anterior, en el pulso P4 la fase mineral de cobre más importante corresponde a la tetraedrita (20 % Cu; 25% Ag), que suplanta casi por completo a la calcopirita dentro de la paragénesis. Este cambio mineralógico, sumado a una mayor participación de las fases minerales argentíferas (tetraedrita, polibasita, miargirita, pirargirita, freieslebenita y plata nativa), estaría sugiriendo un aumento en la relación Ag/Cu respecto del pulso anterior. De esta manera, este pulso se caracteriza por una signatura geoquímica donde los metales base están subordinados respecto a la Plata: Ag + Sb + Zn + Cu + Pb + As + Au.

Por último, en el pulso P5 las fases minerales portadoras de metales base están prácticamente ausentes, siendo la mena los sulfuros y sulfosales de plata (miargirita y argentita). La signatura geoquímica de este pulso sería mayormente argentífera: Ag + Sb + As + Zn + Pb + Cu.

Estas variaciones en la mineralogía y en las paragénesis de metales a lo largo del episodio E2, sugieren una progresiva disminución de la relación Cu/(Zn+Pb), que es acompañada por un fuerte incremento en la relación Ag/(Cu+Pb+Zn) a lo largo del tiempo. Por último, y considerando el conjunto de los episodios E2 y E3, se puede ver como la etapa hidrotermal evoluciona siguiendo un patrón progresivo de empobrecimiento en metales, evidenciado por el paulatino incremento en la proporción de minerales de ganga (Figura 3.29).

Finalmente, la similitud entre la geometría y el relleno hidrotermal observada en los distintos sistemas de vetas permite interpretar que todos ellos se habrían originado durante la evolución del mismo evento hidrotermal. De esta manera, los resultados de los estudios de $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ permiten acotar el funcionamiento de este sistema hidrotermal al Oxfordiano (156.5 \pm 0.9 Ma, Figura 3.27). Una edad similar a lo reportado para sistemas epitermales del Macizo del Deseado (Echavarría *et al.* 2005; Fernández *et al.*, 2008; Wallier, 2009).

Luego del evento hidrotermal que dió origen a los episodios E1 a E3, la mineralización sufrió los efectos de un evento de deformación de tipo frágil vinculado a la reactivación tectónica de la zona de falla que contiene al sistema de vetas Martha-R4. El resultado de este evento fue el desarrollo de cuerpos irregulares de brechas de falla y cataclasitas foliadas (Figura 3.16) que produjeron la removilización mecánica y química (Gilligan y Marshall, 1987; Marshall y Gilligan, 1987; Hobbs, 1987) de los sulfuros y sulfosales formados anteriormente, dando lugar a la formación del episodio E4. La naturaleza cohesiva de este tipo de brechas y cataclasitas se debe a la precipitación de minerales a partir de la circulación de fluidos en forma sincrónica con la deformación (Passchier y Trouw, 2005), en el caso de Mina Martha se

trata mayormente de calcedonia de grano fino presente en la matriz (Figura 3.16c y d).

La removilización mecánica (Marshall y Gilligan, 1987) que acompañó a la deformación frágil queda evidenciada por la presencia de clastos angulosos de la mineralización hidrotermal dentro de las brechas y cataclasitas (Figura 3.16a y c), la concentración de sulfuros y sulfosales a lo largo de las bandas de las cataclasitas foliadas (Figura 3.16 d), y por la presencia de granos de sulfuros y sulfosales deformados cataclásticamente (Figura 3.16a, e y f). Las similitudes entre la mineralogía de mena del E2 y el E4 (Figura 3.8), y el hecho de que las brechas y cataclasitas presenten mineralización únicamente cuando se desarrollan en las proximidades del episodio E2, permiten interpretar que la mineralización observada en los pulsos P8 y P9 es mayormente el resultado de la circulación de fluidos que produjeron la removilización química (disolución y re-precipitación; Marshall y Gilligan, 1987) de los sulfuros y sulfosales previamente depositados. Esta interpretación es también apoyada por las texturas de muchos de los sulfuros y sulfosales observadas en el episodio E4, que sugieren que al menos una parte de estos se habrían formado a partir de la circulación de fluidos tardíos. Este es el caso de la pirargirita, la miargirita y la tetraedrita-freibergita que muestran texturas de relleno de cavidades (Figura 3.16g y h) y en forma de finas vetillas (Figura 3.17a y b); por último, también es común la presencia de cristales de piritita fracturados cataclásticamente (Py-1) cuyas fracturas aparecen rellenas o “sanadas” por una segunda generación de piritita (Py-2) que creció en forma tardía (Figura 3.16f).

La edad de este evento tectónico es bastante difícil de estimar dada la falta de fases minerales datables en los pulsos que lo constituyen. Sin embargo, el hecho que estas brechas sean previas al principal evento de fracturación post-mineral que disloca los cuerpos mineralizados (ver Capítulo 4), permite especular sobre una posible edad Jurásica Superior a Cretácica Inferior (post-Oxfordiana y pre-Aptiana; Giacosa *et al.*, 2010) para este evento tectónico removilizante.

Por último, al igual que lo observado en otros yacimientos metalíferos en el mundo (e.g., Gu *et al.*, 2007), Mina Martha representa un interesante ejemplo de cómo los procesos tectónicos de removilización mecánica y química (Gilligan y Marshall, 1987; Marshall y Gilligan, 1987; Hobbs, 1987) pueden contribuir de manera significativa en la formación de cuerpos de alta ley dentro de un yacimiento mineral.

Las partes más superficiales del yacimiento están dominadas por el desarrollo de una zona de oxidación de alrededor de 20 m de potencia que es seguida en profundidad por una pequeña zona de enriquecimiento supergénico de alrededor de 20 m de potencia (Figura 3.20a).

Esta zonación resulta de la disolución de los sulfuros y sulfosales primarias en las partes oxidadas del depósito, y su posterior redepositación en profundidad bajo condiciones reductoras (Boyle, 1968; Mann, 1984; Greffié *et al.*, 2007). De esta manera, las variaciones observadas en la relación Ag/Au en función de la profundidad (Figura 3.20a), junto con la presencia de plata nativa, argentita (Figura 3.20c) y pirargirita secundarias en la zona de enriquecimiento, son indicativas de una muy alta movilidad de la plata durante la erosión y meteorización de la mena primaria.

Con la etapa supergénica finalizan las modificaciones postminerales registradas en Mina Martha; y si bien la edad de esta etapa es difícil de estimar, la cercana correlación existente entre la topografía actual y la geometría de la zona de oxidación permiten interpretar una edad Cuaternaria para este evento. Finalmente, si bien el nivel de enriquecimiento tiene un desarrollo restringido dentro del yacimiento, los procesos supergénicos constituyeron un factor económicamente importante al incrementar las leyes de

plata en las partes más someras del yacimiento.

3.8.3. Distribución y naturaleza de las alteraciones

La etapa hidrotermal del yacimiento (episodios E1 a E3, Figura 3.29) se caracteriza por el desarrollo de una importante asociación mineral secundaria originada como producto de alteración de las rocas de caja. El estudio de la distribución de estas fases minerales permitió definir un conjunto de 5 zonas de alteración dominadas por una asociación mineral determinada (Figura 3.30).

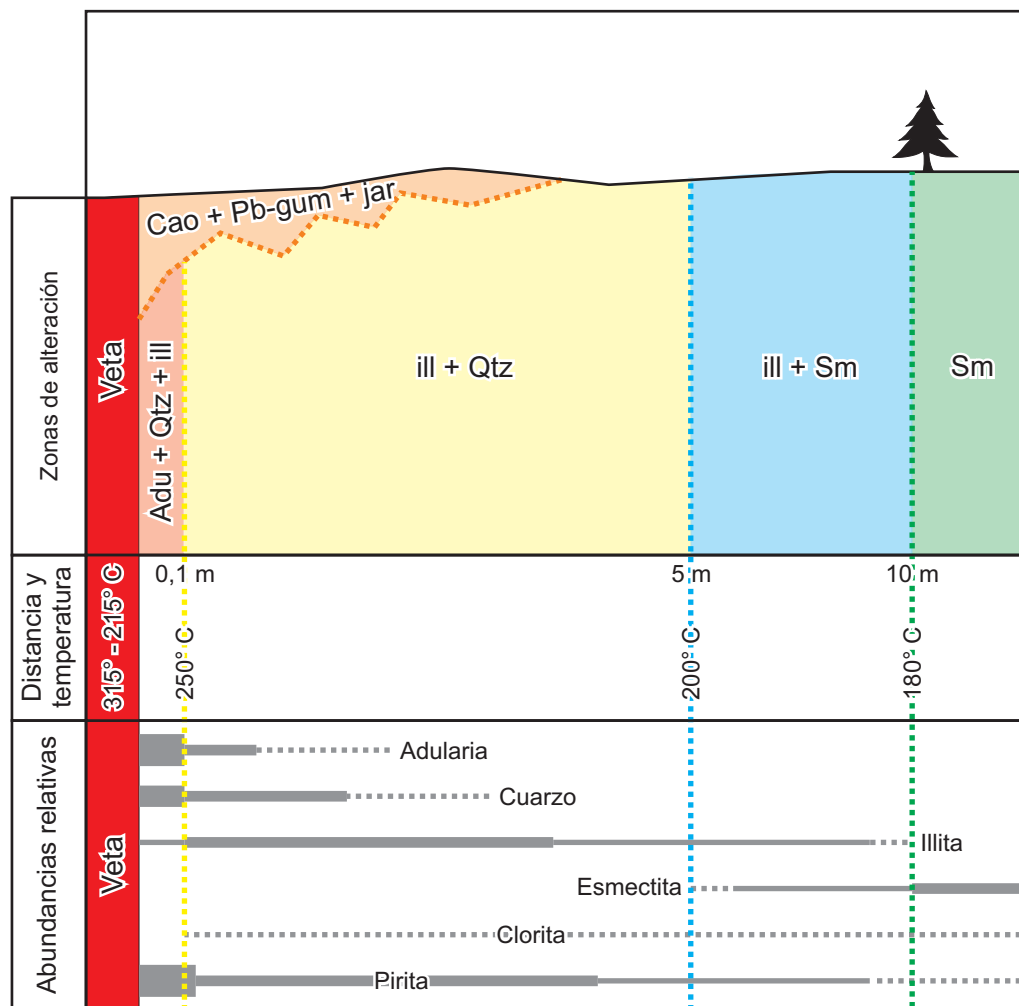
Zona de adularia + albita + cuarzo + illita + sulfuros/sulfosales: Esta zona está ubicada en las partes más internas del halo de alteración (entre 5-10 cm desde el contacto con la veta, Figuras 3.30) y asociada únicamente con la mineralización del episodio E2 (Figura 3.21b y c). Esta zona se caracteriza por la total obliteración de las texturas originales de las rocas de caja (Figura 3.21d). En campos geotermales activos, las zonas de alta permeabilidad o con una elevada relación agua/roca, se caracterizan por la presencia de abundante adularia hidrotermal, o bien con la coexistencia de adularia y albita hidrotermal (Browne, 1978; Simmons y Browne, 2000). De esta manera, la mineralogía reconocida en esta zona de alteración pudo ser interpretada como relacionada a zonas de alta permeabilidad dentro del yacimiento, y relacionada a la circulación de fluidos neutros a levemente alcalinos con temperaturas superiores los 250°C (Simmons y Browne, 2000).

Zona de illita + cuarzo + adularia + pirita ± clorita ± albita: La zona rica en illita forma un amplio halo que en general se dispone entre el contacto de la veta y puede alcanzar hasta 5 o 6 m de extensión (Figura 3.30). La cristalinidad de la illita y los contenidos de cuarzo y adularia se incrementan suavemente hacia el contacto con las estructuras mineralizadas (Figura 3.21a). Los contenidos de pirita son variables, pero en general se incrementan en las proximidades de las vetas. Los trabajos de Browne (1978); Simmons y Browne (2000) y Simpson y Mauk (2007) sugieren, en función de los filosilicatos presentes, que esta asociación mineral es indicativa de la circulación de fluidos con pH neutro y temperaturas superiores a los 200° C.

Zona de illita + esmectita ± adularia ± clorita ± pirita: En las partes medias del halo de alteración, entre los 5 y 10 m desde el contacto, se observa una zona de alteración caracterizada por la presencia de illita y esmectita (Figura 3.30). Ocasionalmente se reconocen cantidades subordinadas de adularia y pirita. Finalmente, en esta zona empiezan a reconocerse relictos de las plagioclasas originales de la roca de caja. La presencia de illita y esmectita como fases discretas, sin la presencia de interestratificados I/S, estaría indicando que las arcillas se formaron mediante procesos de disolución y cristalización directa (Altaner *et al.*, 1997; Baluz *et al.*, 2010), a partir de fluidos con temperaturas entre los 200 y los 180°C (Reyes, 1990; Simmons y Browne, 2000; Simpson y Mauk, 2007).

Zona de esmectita ± adularia ± clorita ± pirita: A partir de los 8 a 10 m se desarrolla la parte más distal del halo de alteración reconocido en Mina Martha (Figura 3.30), caracterizado por un grado leve de alteración y la preservación de la mayoría de las fases minerales primarias. La presencia de esmectita como único filosilicato es típica de las partes más distales de los sistemas geotermales activos (Browne, 1978; Simmons y Browne, 2000), y es indicativa de temperaturas de formación inferiores a los 180°C (Reyes, 1990; Simmons y Browne, 2000; Simpson y Mauk, 2007).

Zona de Caolinita ± Plumbogummita ± Jarosita: La coexistencia de caolinita y minerales del grupo de

Figura 3.30. Alteraciones en Mina Martha

Perfil esquemático (fuera de escala) resumiendo las principales características de las alteraciones presentes en Mina Martha (asociaciones minerales, abundancias relativas, distancias y temperaturas estimadas). Referencias: Adu = adularia, Qtz = cuarzo, ill = illita; Sm = esmectita, Cao = caolinita, Pb-gum = plumbogummita, jar = jarosita.

la alunita definen una alteración de tipo argílica avanzada (Simmons *et al.*, 2005), que puede ser el resultado de la acción de aguas calentadas por vapor (*steam-heated*), o bien el resultado de la meteorización y oxidación supergénica de la mineralización y sus rocas de caja (Sillitoe, 1993; Simmons *et al.*, 2005). Sin embargo, la presencia de plumbogummita intercrecida con caolinita de baja cristalinidad (Figura 3.22a), jarosita y plumbojarosita (Sección 3.5.2), sugiere que esta asociación mineral tiene un origen supergénico dado por el descenso de aguas meteóricas ácidas producto de la meteorización y destrucción de los sulfuros primarios (Simmons *et al.*, 2005; Scott, 1996; Scott, 2003; Tzvetanova, 2003). De esta manera, esta asociación mineral sería tardía respecto a las mencionadas anteriormente, y su origen estaría vinculado a la etapa supergénica de la evolución del yacimiento (Figura 3.30).

3.8.4. Naturaleza y composición de los fluidos mineralizantes

La paragénesis de alteración (cuarzo, adularia, illita, esmectita, clorita y pirita) sugieren que la mineralización responsable de la formación de los episodios E1 a E3 se habría originado a partir del

ascenso de soluciones cloruradas reducidas, con pH neutro a levemente alcalino (Simpson y Mauk, 2007; Simmons *et al.*, 2005), de manera similar a lo que sucede actualmente en muchos sistemas geotermales activos (Browne, 1978; Simmons y Browne, 2000).

Los datos de inclusiones fluidas muestran que las soluciones cloruradas fueron relativamente diluidas, con salinidades que oscilan entre 0,53 y 3,55 % NaCl eq. (Figura 3.24c), y temperaturas que evolucionaron siguiendo un patrón general de enfriamiento progresivo dentro del rango de 315 a 215°C (Figura 3.24b). Este rango de temperaturas es también apoyado por la presencia de la asociación illita+adularia en las partes proximales del halo de alteración, la que es indicativa de temperaturas superiores a los 250°C (Reyes, 1990; Simmons y Browne, 2000; Simpson y Mauk, 2007). Por último, la falta de evidencias de CO₂ en las inclusiones fluidas (ausencia de clatratos durante los ensayos), sugieren un contenido de CO₂ inferior al 3,7 % en peso en las soluciones hidrotermales (Hedenquist y Henley, 1985).

Los análisis de isótopos estables de oxígeno y azufre ($\delta^{18}\text{O}$ y $\delta^{34}\text{S}$) realizados sobre la mineralización muestran una escasa variabilidad, lo cual sugiere una fuente relativamente homogénea para los fluidos hidrotermales que dieron origen a la mineralización (Ohmoto y Rye, 1979; Hoef, 1987). De esta manera los isótopos de oxígeno ($\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluido}}$ entre -2,75 y -8,14‰) indican una importante componente de origen meteórico en los fluidos, aunque con un pequeño aporte de aguas magmáticas (Figura 3.25b). En tanto que los isótopos de azufre ($\delta^{34}\text{S}_{\text{Fluido}}$ entre 1,42 y -2,08 ‰) sugieren una fuente magmática para este elemento (Figura 3.26b), aunque no puede descartarse un reequilibramiento de las soluciones hidrotermales con la secuencia volcánica Jurásica durante el funcionamiento de las celdas hidrotermales. Por último, la progresiva disminución de los valores de $\delta^{18}\text{O}_{\text{Fluido}}$ a lo largo de la secuencia paragenética (Figura 3.25a), sugiere un paulatino descenso en la participación de las aguas magmáticas respecto a las meteóricas en las soluciones hidrotermales que dieron origen al yacimiento.

La etapa tectónica de la evolución del yacimiento (Figura 3.29), fue acompañada por una limitada circulación de fluidos, que ocurrió en forma concomitante con la deformación frágil que dió origen a las brechas y cataclasitas que caracterizan al episodio E4. Los datos de inclusiones fluidas muestran que estas soluciones fueron más concentradas que en la etapa hidrotermal (Figura 3.24c), alcanzando salinidades que rondan entre 7,73 y 9,98 % NaCl eq., y con temperaturas menores, que se encuentran entre los 139 y 168°C (Figura 3.24b). La falta de determinaciones de isótopos estables, sumada a la falta de una asociación de alteración propia de este episodio, impide la estimación de parámetros químicos adicionales para estas soluciones.

Por último, la etapa supergénica del depósito fue el resultado del descenso de aguas meteóricas frías (menos de 40°C), de naturaleza ácida y oxidante (Sillitoe, 1993; Simmons *et al.*, 2005), que produjeron la destrucción de la mineralización en superficie y dieron origen a una zona de alteración rica en caolinita, plumbogummita y jarosita que se presenta sobreimpuesta al conjunto de alteraciones hipogénicas.

3.8.4. Controles físico-químicos sobre la depositación de la mineralización

En los sistemas epitermales, la ebullición y la mezcla de fluidos son los principales procesos que controlan los parámetros químicos que determinan la precipitación de los minerales; es decir, el pH, la composición de los fluidos y la solubilidad de los minerales (e.g., Skinner, 1997; Simmons *et al.*, 2005;

Canet *et al.*, 2010). A diferencia de los anteriores, el enfriamiento por conducción hacia las rocas de caja, si bien puede estar presente, es un proceso mucho menos importante durante la formación de cuerpos mineralizados en ambientes epitermales (Skinner, 1997; Canet *et al.*, 2010).

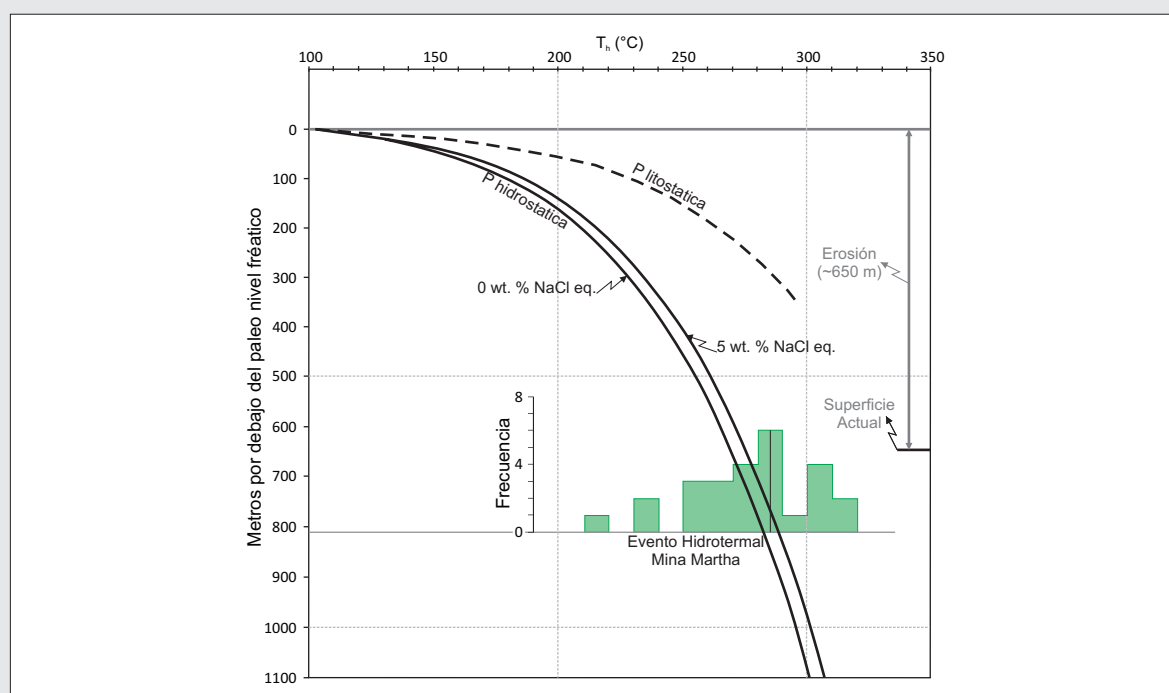
Los estudios realizados sobre sistemas geotermales activos (e.g. Browne, 1978; Simmons y Browne, 2000), depósitos epitermales (e.g. André-Mayer *et al.*, 2002; Brathwaite y Faure, 2002; Canet *et al.*, 2010) y modelos termodinámicos (e.g. Drummond y Ohmoto, 1985; Simmons y Browne, 2000; Canet *et al.*, 2010) han mostrado que la presencia de adularia, pseudomorfo de calcita “hojosa” (platy calcita), y la presencia de intervalos mineralizados, representan una fuerte evidencia de ebullición en el sistema.

Quizás el factor económicamente más importante de la ebullición tiene que ver con su fuerte influencia sobre la capacidad de transporte de los metales por parte de las soluciones hidrotermales (Drummond y Ohmoto, 1985). Cuando la ebullición ocurre en las partes profundas del sistema epitermal (por debajo de los 500 m), se produce un incremento en el pH debido a la separación del CO₂ como fase volátil, resultando en la desestabilización de los complejos clorurados que transportan los metales en solución, lo que produce la precipitación de los metales base y la plata (Drummond y Ohmoto, 1985; Morrison *et al.*, 1989; André-Mayer *et al.*, 2002). Al contrario, el oro, que forma complejos con el azufre (Seward, 1973), precipita a profundidades mas someras donde la ebullición produce la pérdida del H₂S (Brown, 1986; Hedenquist y Henley, 1985). Las diferencias en la profundidad donde se separan ambas fases gaseosas es el resultado de las distintas solubilidades de estos gases en las soluciones hidrotermales (CO₂ < H₂S; Drummond y Ohmoto, 1985; Canet *et al.*, 2010).

De esta manera, la liberación del CO₂ durante el inicio de la ebullición es acompañado por un incremento en el pH; este fenómeno produce una sobresaturación de calcita, que se deposita rápidamente con un característico habito “hojoso” (Simmons y Browne, 2000; André-Mayer *et al.*, 2002). Al mismo tiempo, se produce la desestabilización de los complejos que transportan al aluminio; que, sumado al incremento de pH, hacen que se establezca y precipite la adularia como aluminosilicato dominante en la ganga (Simmons y Browne, 2000; Dong y Morrison, 1995).

Adicionalmente a los criterios mineralógicos expuestos anteriormente, el estudio de las inclusiones fluidas puede proveer evidencias adicionales sobre la existencia de condiciones de ebullición en las soluciones. El principal criterio es la presencia de conjuntos de inclusiones fluidas que, perteneciendo a una misma familia, muestren contenidos variables de líquido y vapor reflejando la coexistencia de ambas fases durante su entrapamiento (Haas, 1971; Bodnar *et al.*, 1985). Sin embargo, el entrapamiento de fluidos heterogéneos (vapor+líquido) parece no ser un proceso muy extendido durante la formación de inclusiones fluidas; ya que Simmons y Christenson (1994) encontraron que varios sistemas geotermales activos con condiciones de intensa ebullición, presentan cantidades muy reducidas de inclusiones fluidas ricas en vapor respecto de las ricas en líquido (menos del 1%), incluso a pesar de mostrar una vigorosa generación de burbujas de vapor a partir del fluido.

Si bien en Mina Martha no se pudieron observar evidencias de inclusiones fluidas ricas en vapor, ni la existencia de pseudomorfo de calcita en los pulsos mineralizantes; la existencia de un nivel de ebullición en el yacimiento estaría apoyada por la presencia de abundante adularia en la ganga de casi todos los episodios hidrotermales (Figura 3.8 y 3.29), y su cercana asociación con los sulfuros y sulfosales de plata y metales base. Otra evidencia, un poco más indirecta, de ebullición podría ser el gran desarrollo de las texturas brechosas asociadas a la mayoría de los pulsos con adularia (Figura 3.9 y 3.29); ya que el

Figura 3.31. Profundidad del punto de ebullición

Variación de la temperatura del punto de ebullición en función de la profundidad bajo condiciones de presión hidrostática (Hass, 1971). Las curvas corresponden a agua pura y a una solución con 5% NaCl eq. Se presentan para su comparación los resultados de las inclusiones fluidas de Mina Martha (Figura 3.23d)

aumento de la presión producto de la separación de la fase volátil puede resultar en procesos de fracturación hidráulica (Jébrak, 1997). Por último, la presencia de abundante adularia en todos los episodios hidrotermales (E1, E2 y E3), puede ser interpretada como el resultado de un proceso sostenido de ebullición a lo largo de casi toda la evolución del sistema hidrotermal.

La asociación entre la adularia y los metales (Ag, Cu, Pb, Zn), sugiere que la precipitación de ambos ocurrió como resultado de la separación del CO_2 a profundidades mayores a 500 m (Drummond y Ohmoto, 1985; Albinson *et al.*, 2001; André-Mayer *et al.*, 2002; Christie *et al.*, 2007). Asumiendo un escenario de ebullición bajo condiciones de presión hidrostática, como la imperante en sistemas geotermales actuales (Simmons y Browne, 2000), la profundidad de formación de la mineralización puede ser acotada con más precisión considerando las temperaturas de homogenización (T_h) medidas en inclusiones fluidas, y comparando esos valores con las curvas calculadas para el punto de ebullición por Haas (1971). En el caso de Mina Martha (Figura 3.31), puede verse que la profundidad mínima de depositación para la adularia y los metales corresponde a alrededor de los 800 m por debajo del paleo-nivel freático (Haas, 1971; Simmons y Browne, 2000; André-Mayer *et al.*, 2002; Canet *et al.*, 2010), y que estos valores sugieren un mínimo de 650 m de erosión del sistema hidrotermal desde su formación a la actualidad (Figura 3.31).

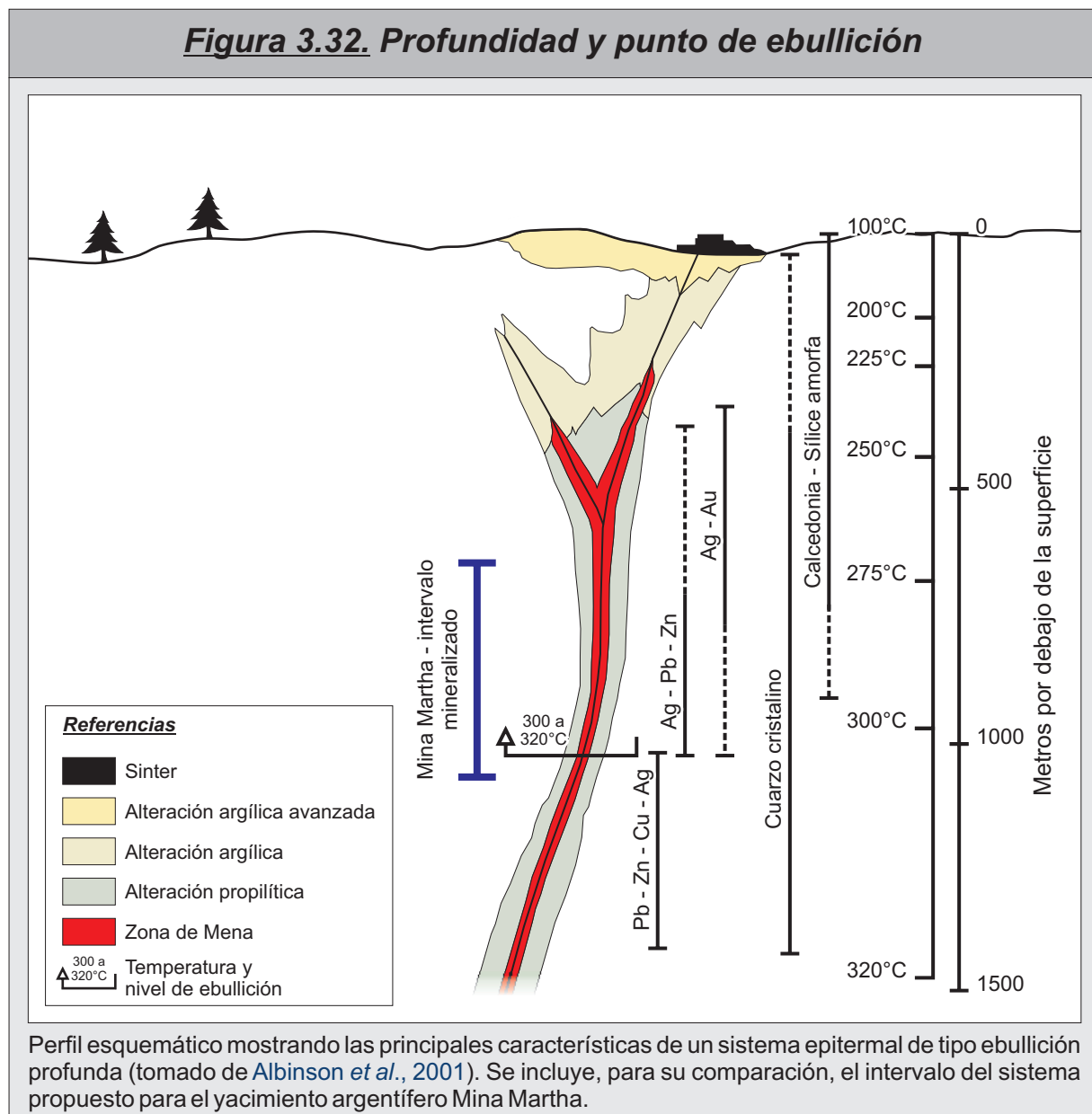
La integración de la información descrita anteriormente, especialmente en lo que hace a la paragénesis de metales que caracteriza al yacimiento (Ag + Pb + Zn + Cu \pm Au), las temperaturas de los fluidos que depositaron estos metales en el episodio E2 (316 a 231°C, Figuras 3.24a y b), y la presencia de un nivel de ebullición ubicado a una profundidad de alrededor de 800 m (Figura 3.31), permiten clasificar al depósito argentífero Mina Martha como un sistema epitermal del tipo “ebullición profunda” (“Deep Vein Type Boiling”, Figura 3.32) que fuese definido por Albinson *et al.* (2001) para los depósitos

epitermales mexicanos como Fresnillo, Guanajuato, Pachuca-Real del Monte, o Tayolita (Albinson *et al.*, 2001; Campurubi y Albinson, 2006). Estos sistemas están relacionados con fluidos hidrotermales que inician la ebullición a temperaturas cerca de los 300°C y a profundidades de alrededor de 1000 m por debajo del nivel freático (Albinson *et al.*, 2001).

Además de sugerir la existencia de un nivel de ebullición en el yacimiento, la adularia es una herramienta útil para estimar las condiciones de permeabilidad y sobresaturación bajo las cuales ocurre este fenómeno (Dong y Morrison, 1995). De esta manera, un fluido hidrotermal sometido a ebullición bajo condiciones de baja permeabilidad (baja sobresaturación), da lugar a la precipitación de cristales de adularia de morfología subrómica; mientras que bajo condiciones de mayor permeabilidad (alta sobresaturación), predominan los cristales con morfologías tabulares y rómicas, tabulares durante los inicios de la ebullición, y rómicos si la ebullición se prolonga en el tiempo (Dong y Morrison, 1995).

En Mina Martha, la transición entre los episodios E2 y E3 es marcado por una importante variación en los espesores de los cuerpos mineralizados, que pasan de tener entre 15 y 20 cm, a superar ampliamente los 150 cm durante el E3 (Figura 3.9g). Esta diferencia es acompañada por un significativo cambio de las morfologías en los cristales de adularia presentes en el relleno, que pasan desde adularias subrómicas en el E2 hacia adularias tabulares y luego rómicas en el E3 (Figura 3.29). De esta manera, la transición desde el episodio E2 hacia E3 estaría marcada por un abrupto cambio en la permeabilidad del sistema como resultado de un evento brusco de apertura del conducto hidrotermal que pasó de tener escasos decímetros a más de un metro de diámetro. Este aumento brusco en la permeabilidad produjo un cambio en las morfologías de las adularias depositadas, que pasaron súbitamente de subrómicas a tabulares; para luego, al mantenerse activa la ebullición a lo largo del tiempo, cambiar nuevamente hacia morfologías de tipo rómico. Por último, la formación del episodio de alta ley E2 bajo condiciones de ebullición en un entorno de menor permeabilidad, es también apoyado por el gran desarrollo de las texturas bechosas por sobre los bandeados o las texturas masivas, en todos los pulsos mineralizados (Figura 3.29); esto estaría sugiriendo que los fluidos tenían que abrirse paso a medida que ascendían por los conductos hidrotermales parcialmente obturados por la presencia de material hidrotermal preexistente (Jébrak, 1997).

Finalmente, la etapa hidrotermal del yacimiento se caracteriza por importantes variaciones en los contenidos y las relaciones entre los metales, especialmente en las relaciones $Ag/(Cu+Pb+Zn)$ y $Cu/(Zn+Pb)$. Estas variaciones muestran un fuerte aumento en los contenidos de plata, que son acompañados por un progresivo descenso en las concentraciones de metales base a lo largo de la evolución del sistema hidrotermal (especialmente a lo largo del episodio E2). Estos cambios ocurren en forma simultánea con el progresivo enfriamiento de las soluciones hidrotermales (Figura 3.24b), lo que sugiere una progresiva somerización dentro del sistema epitermal de tipo “ebullición profunda” (Figura 3.32; Albinson *et al.*, 2001) propuesto para Mina Martha. Dentro de este esquema, los pulsos P2 y P3 (principalmente $Pb + Zn + Cu + Ag$) representarían las partes más profundas y “calientes” dentro de este modelo (Figura 3.32), mientras que los pulsos P4 y P5 (principalmente $Ag + Pb + Zn$) marcan una transición hacia las partes altas y mas “frías” del sistema (Figura 3.32). Por último, la disminución progresiva en el contenido global de metales observado, a lo largo de la evolución de la etapa hidrotermal del yacimiento (E2 y E3), esté probablemente reflejando una progresiva disminución en el aporte de metales desde la fuente relacionado a una disminución del aporte magmático (como sugieren los

Figura 3.32. Profundidad y punto de ebullición

isótopos de oxígeno), a variaciones en la capacidad de transporte de los metales por parte de las soluciones hidrotermales, o bien una combinación de ambos procesos.

De esta manera, el desarrollo de un nivel de ebullición estable a lo largo de toda la vida del sistema hidrotermal, la profundidad a la que se desarrolló ese nivel, un conjunto de sucesivas variaciones en la permeabilidad producto de la dinámica de las fracturas que actuaron como canales para los fluidos, y la disponibilidad de metales en las soluciones, fueron los cuatro factores que se conjugaron para dar lugar a la formación de los sectores hidrotermales del yacimiento.

Con posterioridad al funcionamiento de este sistema hidrotermal, se produjo una fase de reactivación tectónica que llevó al brechamiento de la mineralización previamente formada. Esta etapa fue acompañada por importantes procesos de removilización mecánica y química que contribuyeron a incrementar localmente las leyes de los cuerpos mineralizados.

Finalmente, y durante la etapa supergénica del yacimiento, el descenso de aguas ácidas de origen meteórico produjo la oxidación y movilización de los sulfuros y sulfosales primarios, y su posterior redepositación para dar origen a una pequeña zona de enriquecimiento supergénico.

3.9. Referencias

- ALBINSON, T., NORMAN, D.I., COLE, D., CHOMIAK, B., 2001, Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. Society of Economic Geologists Special Publication 8: 1–32.
- ALTANER, S. P., YLAGAN, R. F., 1997. Comparison of structural models of mixed-layer illite/smectite and reaction mechanisms of smectite illitization. *Clays and clay minerals*, 45(4), 517-533. Clay Minerals Society.
- ANDRÉ-MAYER, A.S., LEROY, J., BAILLY, L., CHAUVET, A., MARCOUX, E., GRANCEA, L., LLOSA, F., ROSAS, J., 2002. Boiling and vertical mineralization zoning: a case study from the Apacheta low-sulfidation epithermal gold-silver deposit, south Peru. *Mineralium Deposita* 37: 452–464.
- BAULUZ, B., CEDILLO, A., SUBIAS, I., PÁEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M., 2010. Hydrothermal clays at the Futuro Vein, Martha Mine silver epithermal deposit, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. *Trilateral Meeting on Clays (2010TMC)*. Abstracts: 117-118, España.
- BISCAÏE, P. E., 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep-sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and ocean. *Geological Society of America Bulletin* 76: 803-832.
- BODNAR, R.J., REYNOLDS, T.J., KUEHN, C.A., 1985. Fluid inclusion systematics in epithermal systems. *Geology and geochemistry of epithermal systems*: In: Berger, B.R., Bethke, P.M. (Eds.), *Reviews in Economic Geology*, 2, pp. 73–97.
- BODNAR, R.J., VITYK, M.O., 1994. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. En: *Fluid Inclusions in Minerals, Methods and Applications*, B. De Vivo and M. L. Frezzotti, eds., Virginia Tech, Blacksburg, VA, p. 117-130.
- BORTNIKOV, N.S., GENKIN, A.D., DOBROVOL'SKAYA, M.G., MURAVITSKAYA, G.N. Y FILIMONOVA, A.A., 1991. The nature of chalcopirite inclusions in sphalerite: exsolution, coprecipitation, or "disease"? *Economic Geology* 6(5):1070-1082.
- BOYLE, R.W., 1968. The geochemistry of silver and its deposits. *Geological Survey of Canada*, v. 160, 264 p.
- BRATHWAITE, R.L., FAURE, K., 2002. The Waihi epithermal gold-silver-base metal sulfide-quartz vein system, New Zealand: Temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition. *Economic Geology* 97, 269-290.
- BROWN, K.L., 1986. Gold deposition from geothermal discharges in New Zealand. *Economic Geology* 81: 979–983.
- BROWNE, P.R.L., 1978. Hydrothermal Alteration in Active Geothermal Fields. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 6(1): 229-248.
- CANET, C., FRANCO, S.I., PROL-LEDESMA, R.M., GONZÁLEZ-PARTIDA, E., VILLANUEVA-ESTRADA, R.E., 2011. A model of boiling for fluid inclusion studies: Application to the Bolaños Ag–Au–Pb–Zn epithermal deposit, Western Mexico. *Journal of Geochemical Exploration* 110, 118-125.
- CEDILLO FREY, A., 2009. Estudio de la alteración hidrotermal en veta Martha Oeste. Tesis inédita del Máster de Iniciación a la Investigación en Geología, Universidad de Zaragoza, 44 p.
- CEDILLO FREY, A., PÁEZ, G.N., RUIZ, R., BAULUZ LÁZARO, B., SUBÍAS PÉREZ, I., 2009. Mineralogía de la alteración hidrotermal en el yacimiento epitermal Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (Macla)* 11, 57-58.
- CHRISTIE, A.B., SIMPSON, M.P., BRATHWAITE, R.L., MAUK, J.L., SIMMONS, S.F., 2007. Epithermal Au-Ag and Related Deposits of the Hauraki Goldfield, Coromandel Volcanic Zone, New Zealand. *Economic Geology* 102: 785-816.
- CLAYTON, R.N., MAYEDA, T.K., 1963. The use of bromine pentafluoride in the extraction of oxygen from oxides and silicates for isotopic analysis. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 27, 43-52.
- CRAVERO F., DOMÍNGUEZ E., MURRAY H., 1991. Valores δ¹⁸O en caolinitas indicadoras de un clima templado-húmedo para el Jurásico superior-Cretácico inferior de la Patagonia. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 46 (1-2): 20-25.
- DONG, G. Y MORRISON, G. W., 1995. Adularia in epithermal veins, Queensland: morphology, structural state and origin. *Mineralium Deposita* 30: 11-19.

- DONG, G., MORRISON, G. W. Y JAIRETH, S., 1995. Quartz textures in epithermal veins, Queensland - Classification, origin and implications. *Economic Geology* 90 (6): 1841-1856.
- DRUMMOND, S.E., OHMOTO, H., 1985. Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems. *Economic Geology* 80(): 126-147.
- ECHAVARRÍA, L., 1997. Estudio geológico-minero del área El Dorado-Montserrat, Departamento Magallanes, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- ECHAVARRÍA, L.E., SCHALAMUK, I.B.A., ETCHEVERRY, R.O., 2005. Geologic and tectonic setting of Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. *Journal of South American Earth Sciences* 19: 415-432
- ECHEVESTE, H., 2005. Metalogénesis del Distrito argento-aurífero Manantial Espejo, Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- EINAUDI, M.T., HEDENQUIST, J.W., INAN, E.E., 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. Special Publication N°10: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids. Society of Economic Geologists, pp 285-313.
- FERNANDEZ, R.R., BLESÁ, A., MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., MYKIETIUK, K., ANDRADA DE PALOMERA, P., TESSONE M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (4): 665-681.
- FRIEDMAN, I., GLEASON, J., 1973. Notes on the bromine pentafluoride technique of oxygen extraccion. *Journal of Research. U.S. Geological Survey* 1, 6: 679-680.
- GONZALEZ GUILLOT, M., DE BARRIO, R., GANEM, F., 2004. Mina Martha, un Yacimiento Epitermal Argentífero en el Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Río Cuarto.
- GONZALEZ GUILLOT, M., BIEL SORIA, C., FANLO GONZALEZ, I. SUBÍAS PEREZ, I., MATEO GONZALEZ E., 2008. Cobres grises y sulfosales de plata del yacimiento epitermal de Mina Martha, Macizo del Deseado, Santa Cruz (Argentina). *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía (Macla)* 8: 127-128.
- GU, L., ZHENG, Y., TANG, X., ZAW, K., DELLA-PASQUE, F., WU, C., TIAN, Z., LU, J., NI, P., LI, X., YANG, F., WANG, X., 2007. Copper, gold and silver enrichment in ore mylonites within massive sulphide orebodies at Hongtoushan VHMS deposit, N.E. China. *Ore Geology Reviews* 30: 1-29.
- GUIDO, D., 2002. Geología y Metalogénesis del sector oriental del macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- GUIDO, D., SCHALAMUK, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. En: Eliopoulos et al. (editores). *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Balkema-Rotterdam, Vol I, 493-496.
- GILLIGAN, L., MARSHALL, B., 1987. Textural evidence for remobilization in metamorphic environments. *Ore Geology Reviews* 2: 205-229.
- GUTIERREZ, R., 2006. Geology of the Huevos Verdes silver-gold vein system, San José District, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Tesis de Maestría del Colorado School of Mines, Golden, Colorado. 166 p Inédito.
- GREFFIÉ, C., BAILLY, L., MILÉSI, J.P., 2002. Supergene Alteration of Primary Ore Assemblages from Low-Sulfidation Au-Ag Epithermal Deposits at Pongkor, Indonesia, and Nazareno, Peru. *Economic Geology* 97: 561-571.
- HAAS, J.L., 1971. The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure. *Economic Geology* 66(6): 940-946.
- HEDENQUIST, J.W., HENLEY, R.W., 1985. The importance of CO₂ on freezing point measurements of fluid inclusions: evidence from active geothermal systems and implications for epithermal ore deposition. *Economic Geology* 80: 1379-1406.
- HEDENQUIST, J.W., ARRIBAS, A. R., Y GONZALEZ-URIEN, E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Review in Economic Geology* 13: 245-277.
- HERRMANN, W., BLAKE, M., DOYLE, M., HOUSTON,

D., KAMPRAD, J., MERRY, N., PONTUAL, S., 2001. Short Wavelength Infrared (SWIR) Spectral Analysis of Hydrothermal Alteration Zones Associated with Base Metal Sulfide Deposits at Rosebery and Western Tharsis, Tasmania, and Highway-Reward, Queensland. *Economic Geology* 96(5): 939-955.

- HOBBS, B., 1987. Principles involved in mobilization and remobilization. *Ore Geology Reviews* 2: 37-45.
- HOEFS J., 1987. *Stable Isotope Geochemistry*. Springer, 237 p.
- IAEA/WMO, 2004. Global Network of Isotopes in Precipitation. The GNIP Database. Disponible en: <http://isohis.iaea.org>.
- INESON, P.R., 1989. Introduction to practical ore microscopy. 181 p. Longman.
- IUGS, 2010. International Stratigraphic Chart 2010. International Commission on Stratigraphy (IUGS). Disponible en: <http://www.stratigraphy.org/>
- JÉBRAK, M., 1997. Hydrothermal breccias in vein-type ore deposits: A review of mechanisms, morphology and size distribution. *Ore Geology Reviews* 12: 111 - 134.
- JOVIC, S.M., 2009. Geología y metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (Cerro León), sector central del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- KERR, A., RAFUSE, H., SPARKES, G., HINCHEY, J., SANDEMAN, H., 2011. Visible/infrared spectroscopy (VIRS) as a research tool in economic geology: Background and pilot studies from Newfoundland and Labrador, En: Pereira, C.P.G., Walsh, D.G. (Eds.), *Current Research 2011*. Newfoundland and Labrador Department of Natural Resources, pp. 145-166.
- LOPEZ, R.G., 2006. Estudio Geológico-Metalogenético del área oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz, Argentina. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- MANN, A.W., 1984. Mobility of gold and silver in lateritic weathering profiles: Some observations from Western Australia. *Economic Geology* 79: 38-49.
- MÁRQUEZ-ZAVALÍA, M.F., BINDI, L., MÁRQUEZ, M.,

MENCHETTI, S., 2008. Se-bearing polybasite-Tac from the Martha Mine, Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. *Mineralogy and Petrology* 94 (1): 145 - 150.

- MARSHALL, B., GILLIGAN, L., 1987. An introduction to remobilization: Information from ore-body geometry and experimental considerations. *Ore Geology Reviews* 2: 87-131.
- MOREIRA, P., 2005. Geología y Metalogénesis del Distrito La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- MORRISON, G.W., DONG, G., JAIRETH, S., 1989. Textural Zoning in Epithermal Quartz Veins in Queensland Field Guide. James Cook University of North Queensland, Townsville. P.25 (AMIRA project P247).
- MYKIETIUK, K., 2006. Volcanismo y alteración hidrotermal en el prospecto de metales preciosos del área de la estancia La Esperanza, Macizo del Deseado, Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- OHMOTO, H., RYE, R., 1979. Isotopes of sulfur and carbon. En: H.L. Barnes (Ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*; John Wiley & Sons: 509-561.
- OHMOTO, H., GOLDBERGER, M.B., 1997. Sulfur and Carbon Isotopes. En: H.L. Barnes (Ed.) *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*; John Wiley & Sons: 517-611.
- PAEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M. y SCHALAMUK, I.B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.
- POUCHOU, J.L. Y PICHOU, F., 1984. A new model for quantitative X-ray microanalysis. I. Application to the analysis of homogeneous samples. *Rech. Aérospatiale* 3: 13-38.
- RAMDOHR, P., 1980. The ore minerals and their intergrowths. 2nd. Edition (International Series in Earth Sciences). 1253 pp. Pergamon Press.
- REYES, A.G., 1990. Petrology of Philippine geothermal systems and the application of alteration mineralogy to their assessment: *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, v. 43, p. 279-309.
- RIOS, F.J., ALVES, J.V., PEREZ, C.A., ROSIÉRE, C.A., FUJIKAWA, K., COSTA, E.C., CHAVES, A.O., PRATES, S.,

DE BARRIO, R., 2006. Combined investigations of fluid inclusions in opaque ore minerals by NIR/SWIR microscopy and microthermometry and synchrotron radiation X-ray fluorescence. *Applied Geochemistry*, 21: 813-819.

- ROBINSON, B.W., KUSAKABE, M., 1975. Quantitative preparation of sulfur dioxide for $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$ analyses from sulfides by combustion with cuprous oxide. *Analytical Chemistry*, 47 (7): 1179-1181.

- RODRÍGUEZ, M.E., FERNÁNDEZ, R.R., ECHAVARRÍA, L.E., DUCART, D.F., 2010. Alteración Hidrotermal en el Distrito Minero San José, Provincia de Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 67(3): 406-409.

- RUIZ, R., GUIDO, D.M., 2006. Metal Geochemistry from Epithermal Deposits of the Deseado Massif, Patagonia, Argentina. First International SEG Student Chapter Conference-SEG 2006, Biennial Conference "Wealth Creation in the Minerals Industry", Abstracts: pp 354-355, Colorado, USA.

- SCHALAMUK, I.B., DE BARRIO, R., ZUBIA, M., GENINI, A., ECHEVESTE, H., 1999. Provincia Auroargentífera del Deseado, Santa Cruz. En: Recursos Minerales de la República Argentina (Ed. E. Zappettini), Instituto de Geología y Recursos Minerales SEGEMAR, Anales 35: 1177-1188.

- SCHALAMUK I.B., DE BARRIO R., ZUBIA M., GENINI A., VALVANO J., 2002. Mineralizaciones auro-argentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico. En: Haller MJ (ed.) *Geología y recursos naturales de Santa Cruz. Relatorio 15° Congreso Geológico Argentino*: 679-713.

- SCHALAMUK, I.B., RÍOS, F.J., DE BARRIO, R.E., MOREIRA, P., FUZIKAWA, K., ECHEVESTE, H., CUNNINGHAM, C., VIEIRA ALVES, J., 2005. Mineralized fluids related to Au-Ag ores in selected districts of epithermal province Macizo del Deseado, Southern Patagonia, Argentina. *XVI Congreso Geológico Argentino, Actas 2*: 355- 360. La Plata, Argentina.

- SCHULTZ, L. G., 1964. Quantitative interpretation of mineralogical composition from X-ray and chemical data for Pierre shale. U.S. Geological Survey professional paper 391-c, 31 p.

- SCOTT, K.M., 1990. Origin of alunite- and jarosite-group minerals in the Mt. Leyshon epithermal gold deposit, northeast Queensland, Australia. *American Mineralogist*, Volume 75: 1176-1181.

- SCOTT, K.M., 2003. Weathering of base metal deposits, western Lachlan Fold Belt. CRC LEME - AMEC Minerals Exploration Seminar, Abstracts: 34-37.

- SEWARD, T.M., 1973. Thio complexes of gold and the transport of gold in hydrothermal ore solutions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 37: 379-399.

- SHEPHERD, T.J, RANKIN, A.H. Y ALDERTON, D.H.M., 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie, London. 239 p.

- SHEPPARD, S., 1986. Stable isotope in high temperature geological processes. En: Valley, J., Taylor, H., O'Neil, J. (editors). *Reviews in mineralogy*, Vol. 16: 165-184.

- SIMMONS, S.F., BROWNE, P.R.L., 2000. Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95, 971-999.

- SIMMONS, S.F., CHRISTENSON, B.W., 1994. Origins of calcite in a boiling geothermal system. *American Journal of Science* 294: 361-400.

- SIMMONS, S.F.; WHITE, N.C., JOHN, D.A.; 2005, Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits, Society of Economic Geologists, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 485-522.

- SIMPSON, M.P., MAUK, J.L., 2007. The Favona Epithermal Gold-Silver Deposit, Waihi, New Zealand. *Economic Geology* 102, 817-839.

- SIMS, J., 2010. Martha Mine, Santa Cruz, Argentina: Technical Report. Informe técnico según norma NI43-101: 105 p. Disponible en: <http://www.sedar.com>.

- SILLITOE, R.H., HEDENQUIST, J.W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits, in: Simmons, S.F., Graham, I. (Eds.), *Special Publication N°10: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids*. Society of Economic Geologists, pp. 315-343.

- SKINNER, B.J., 1997. Hydrothermal mineral deposits:

what we do and don't know, En: Barnes, H.L. (Ed.), Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, third ed. Wiley, New York, USA, pp. 1–29.

- TILLICK, D. A., PEACOR, D. R., MAUK, J. L., 2001. Genesis of dioctahedral phyllosilicates during hydrothermal alteration of volcanic rocks : I. The golden cross epithermal ore deposit, New Zealand. *Clays and clay minerals*, 49(2), 126-140. Clay Minerals Society.
- TZVETANOVA, Y., 2003. Lead phosphate minerals from Brussetzki deposit (Eastern Rodopes, Bulgaria) - SEM, IR and DTA studies. *Comptes rendus de L'Academie bulgare des Sciences*, 56(5): 55-58.
- WALLIER, S., 2009. The geology and evolution of the Manantial Espejo epithermal silver (+gold) deposit, Deseado Massif, Argentina. Tesis Doctoral de la University of British Columbia, Vancouver. 303p. Inédito. Disponible en: <http://circle.ubc.ca/handle/2429/17439>.
- WILKINSON, J.J., 2001. Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55: 229-272.
- YANG, K., BROWNE, P.R.L., HUNTINGTON, J.F., WALSHE, J.L., 2001. Characterising the hydrothermal alteration of the Broadlands–Ohaaki geothermal system, New Zealand, using short-wave infrared spectroscopy. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 106(1-2), 53-65.
- ZHENG, Y.F., 1993. Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 57: 1079-1091.

Capítulo 4:

Controles estructurales en la mineralización del yacimiento Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina.

4.1. Introducción

En general el Macizo del Deseado plantea dificultades para la realización de estudios estructurales de detalle, debido a los escasos afloramientos de planos y zonas de fallas, y a la presencia de una abundante cobertura moderna que oculta los principales rasgos estructurales de la región.

Estas dificultades han hecho que la mayoría de los estudios estructurales regionales desarrollados hasta la fecha en la comarca del Deseado tengan una gran componente de análisis de imágenes y fotolineamientos (Echavarría, 1997; Guido, 2002; Echeveste, 2005; Lopez, 2006; Mykietiuik, 2006) en lo que respecta al fallamiento regional. En tanto que en el caso de las mineralizaciones se ha recurrido al análisis de datos de orientación de las estructuras junto con los indicadores cinemáticos observados con el fin de entender la cinemática actuante durante la depositación de las vetas (Echeveste, 2005; Lopez, 2006; Mykietiuik, 2006; Jovic, 2009).

En el presente capítulo se analizan los aspectos estructurales reconocidos en los principales sistemas de vetas presentes en Mina Martha (Figura 4.1) con el objetivo de elaborar un modelo estructural que permita explicar los mecanismos tectónicos que facilitaron la formación de fallas y vetas en la zona de estudio. La existencia de un yacimiento en producción es una oportunidad única para analizar los controles estructurales que actuaron sobre las mineralizaciones presentes en el Macizo del Deseado, ya que las labores mineras permiten el estudio de las estructuras mineralizadas con un gran detalle.

4.2. Marco estructural del Macizo del Deseado

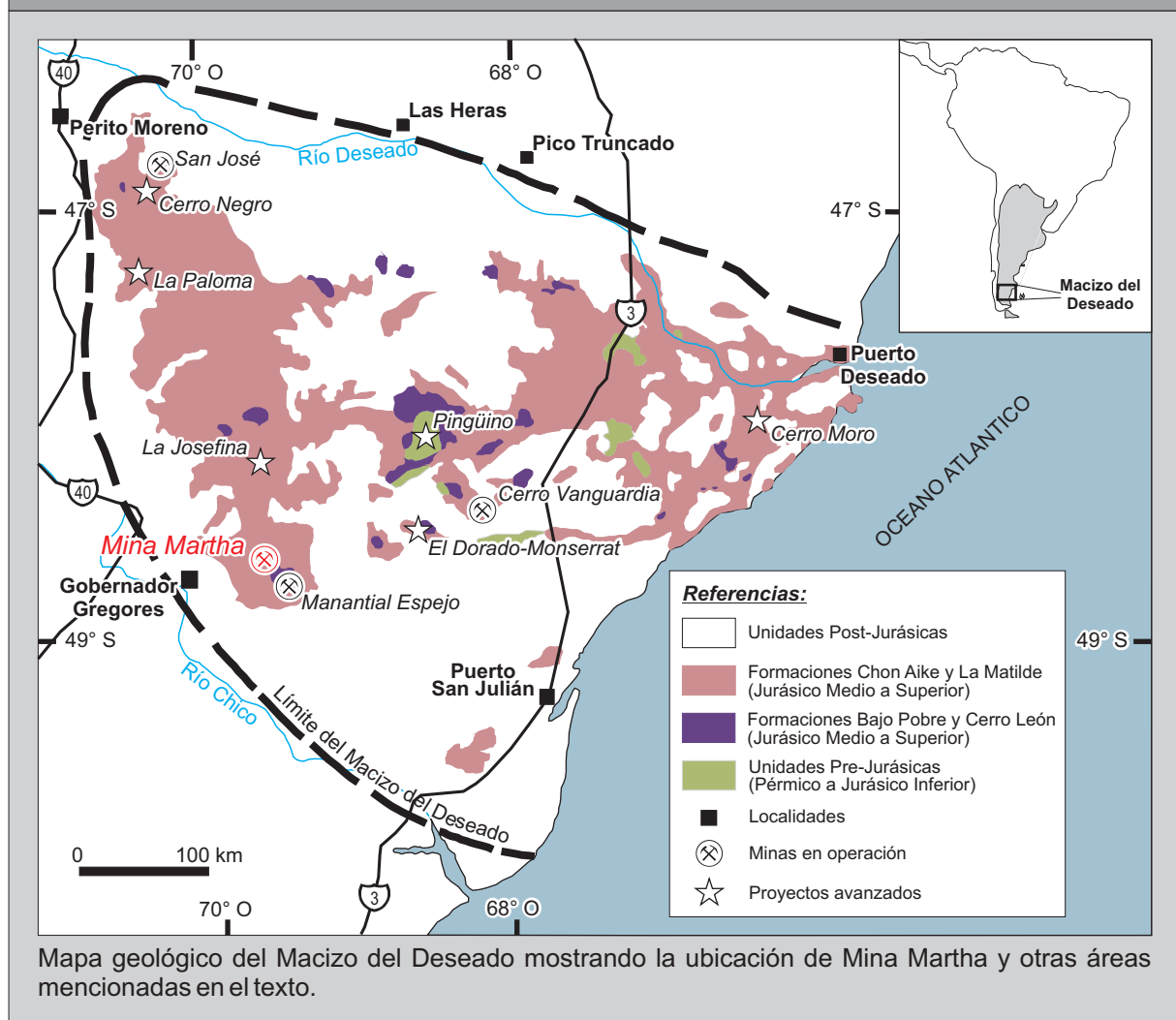
4.2.1. Marco estructural regional

El Macizo del Deseado (Figura 4.1) se caracteriza principalmente por una importante deformación de tipo frágil, que es el resultado de varias fases de deformación que se han sucedido desde el Pérmico hasta la actualidad (Ramos, 2002).

El Pérmico y el Triásico se caracterizaron por el desarrollo de un ambiente extensional dominado por sedimentación silicoclástica (Fm. La Golondrina) en grábenes asimétricos de orientación NNO-SSE a N-S (Ramos, 2002), que hacia el Triásico Superior y Jurásico Inferior evolucionan hacia una etapa de subsidencia caracterizada por sedimentación silicoclástica (Gr. El Tranquilo) y piroclástica (Fm. Roca Blanca).

Durante el Jurásico, ocurre una rápida propagación de los sistemas de rift en todo el ámbito de la Patagonia (Ramos 1996; Ramos, 2002). En el Macizo del Deseado, este ambiente extensional se habría originado como consecuencia del desarrollo de un límite transformante de placas (Falla de Agulhas-Malvinas y su prolongación continental) asociado a la apertura del Océano Atlántico (Homovc *et al.*, 1996) y que fue acompañado por el extenso vulcanismo de la Provincia Ígnea Gigante Chon Aike (Pankhurst *et al.* 1998).

Figura 4.1. Mapa de ubicación



De acuerdo a [Giacosa et al. \(2008\)](#), el período Jurásico se caracterizó por un ambiente tectónico dominado por extensión oblicua dominado por fallas principales de rumbo ONO y NNE de alto ángulo. Las fallas ONO poseerían un desplazamiento mixto dextral-normal y habrían ejercido un fuerte control sobre el vulcanismo y las mineralizaciones ([Echeveste, 2005](#); [Giacosa et al., 2008](#)); en tanto que las fallas de rumbo NNE serían estructuras de segundo orden, aunque también habrían ejercido algún tipo de control sobre las mineralizaciones y posiblemente también sobre el vulcanismo ([Moreira, 2005](#); [Moreira et al., 2008](#)).

Durante el Cretácico Inferior, con posterioridad a la depositación de la Fm. Bajo Grande y con anterioridad a la depositación de la Fm Baqueró, se instaló un sistema compresivo en la región del Deseado ([Ramos, 2002](#); [Giacosa et al., 2008](#)). Este régimen estuvo caracterizado por esfuerzos compresivos de orientación SO-NE, que produjeron la inversión de las fallas jurásicas, de manera que las fallas ONO se invirtieron de manera transpresiva-sinistral y las fallas NNE como fallas inversas.

Durante el Cretácico Superior y gran parte del Terciario, habría continuado un régimen compresivo aunque no se mencionan grandes movimientos para el Macizo del Deseado, lo que estaría indicando una relativa calma tectónica.

Finalmente, y a partir del Mioceno se inicia el levantamiento de la Cordillera de los Andes para las latitudes del Macizo del Deseado ([Ramos, 2002](#)), esto produce una elevación generalizada de las

secuencias Jurásicas y Cretácicas producto de la reactivación como fallas inversas de muchas de las fallas preexistentes (Giacosa *et al.*, 2008).

Como resultado de su historia tectónica, el Macizo del Deseado está caracterizado por una intensa deformación de tipo frágil, dominada por el desarrollo de fracturas y fallas, que pueden presentar longitudes desde pocos metros hasta de más de 30 km de longitud y conformar rasgos de escala regional (Lopez, 2006).

Además de la deformación frágil, también puede reconocerse una deformación dúctil muy localizada caracterizada por braquianticlinales suaves y amplios, como es el caso del “Anticlinal El Tranquilo”, el “Anticlinal El Fenix” y el “Anticlinal Cerro Vanguardia”. Estos plegamientos han sido interpretados de diversas maneras a lo largo de los años, De Giusto *et al.* (1980) proponen que se habrían originado en respuesta a movimientos de los bloques del basamento rígido; Giacosa *et al.* (2008) proponen para el “Anticlinal El Tranquilo” que se habría originado por inversión tectónica de fallas jurásicas durante el evento compresivo del Cretácico Inferior; finalmente Peñalba *et al.* (2008) y Jovic (2009) proponen que el “Anticlinal El Tranquilo” se habría originado en respuesta a la intrusión de cuerpos ígneos mesozóicos.

4.2.2. Marco estructural de las mineralizaciones jurásicas

El Macizo del Deseado se caracteriza por numerosas manifestaciones epitermales de variadas características y diferentes arreglos estructurales (Figura 4.1). Sin embargo, en la bibliografía se pueden reconocer dos grandes grupos de mineralizaciones en función de su orientación y cinemática.

El primer grupo de mineralizaciones se encuentra asociado al sistema de fallas propuesto por Giacosa *et al.* (2008) para el rift Jurásico, donde la dirección principal presenta una cinemática dextral-normal y una orientación general ONO a NO e incluye los sistemas de vetas de la Mina Cerro Vanguardia (Giacosa *et al.*, 2008b) y la Mina Manantial Espejo (Echeveste, 2005). La dirección secundaria de este sistema tiene una orientación NNE, una cinemática sinistral-normal, y está representado por las mineralizaciones observadas en el Proyecto La Josefina (Moreira *et al.*, 2008). Este conjunto de mineralizaciones posee una edad que varía entre 156 y 152 Ma con una moda alrededor de los 154 Ma (Moreira *et al.*, 2009; Wallier, 2009)

El segundo grupo de mineralizaciones presenta una cinemática sinistral y una orientación general NO a NNO que no puede explicarse en función de las direcciones y cinemáticas propuestas por Giacosa *et al.* (2008) para el Jurásico. Dentro de este conjunto de mineralización se encuentran las vetas de la Mina San José (Gutierrez, 2006), Veta Eureka (Lopez, 2006), Mina Martha (este trabajo), entre otros. Estas estructuras podrían estar alojándose en fracturas producto de reactivaciones de fallas antiguas presentes en el basamento de las vulcanitas jurásicas, ya que estas mineralizaciones poseen edades de entre 165 y 151 Ma (Dietrich *et al.*, 2005; Gutierrez, 2006; Lopez, 2006), que indican una superposición temporal con el primer grupo.

4.3. Metodología

Para la realización del presente estudio se recopiló la información brindada por la empresa Coeur Argentina S.R.L. Esta información consistió en mapeos de interior mina (escala 1:500), logueos de

frentes de avance de los laboreos (escala 1:100), planillas de muestreo en techos y frentes de laboreos, y finalmente modelos digitales de bloques y sólidos de las estructuras mineralizadas.

Los mapeos de interior mina fueron ampliados y completados con la información proveniente de planillas de logueo de frentes de avance y de muestreos de canaletas, para luego ser digitalizados e incorporados a una base de datos GIS (Ver Anexo II) con el fin de realizar un análisis completo de geometría de los cuerpos mineralizados y su relación con la distribución de las leyes.

Posteriormente se recopilaron todos los datos disponibles de rumbo, buzamiento y espesor de las estructuras mineralizadas y de las fallas postminerales. Estos datos fueron completados y controlados con mediciones de campo en superficie y en los niveles del yacimiento que se encontraban activos al momento de realizarse los trabajos de campo.

La información estructural fue organizada en planillas de cálculo, expresada como rumbo de buzamiento (Rbz), y dividida en función del tipo de dato (veta/falla), el nombre de la veta, el nivel de la mina, y el espesor de la estructura mineralizada.

Finalmente, para el análisis de los datos estructurales y la realización de los diagramas de polos, se utilizó el software Georient V9.4.4 (Holcombe, 2009).

4.4. Controles estructurales en los cuerpos mineralizados

4.4.1. Distribución, orientación y continuidad de las estructuras mineralizadas

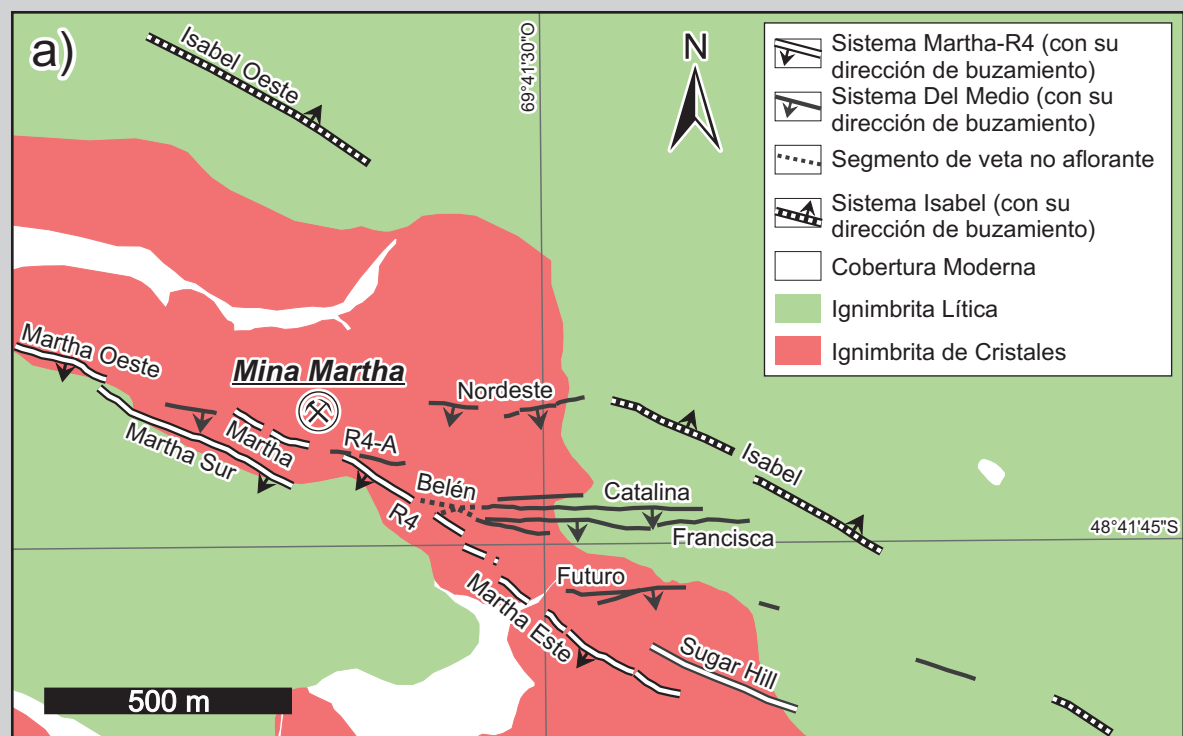
Las estructuras vetiformes presentes en Mina Martha están alojadas en ignimbritas pertenecientes al Complejo Volcánico Bahía Laura (Figura 4.2a). La mayor parte de los segmentos mineralizados con alta ley se encuentran emplazados en la Ignimbrita de Cristales y en la Ignimbrita Dacítica Fina, aunque también se ha reconocido mineralización económica cortando a las Ignimbritas Lítica y “Dacítica” (Capítulos 2 y 3).

Las vetas presentes en las inmediaciones de la mina pueden ser divididas en dos grandes sistemas de acuerdo a su orientación general (Figura 4.2a): un sistema de orientación NO-SE compuesto por las vetas Martha, R4, Martha Oeste, Martha Este, Martha Sur e Isabel que ha sido denominado como Sistema Martha-R4; y un sistema de orientación general E-O conformado por las vetas Belén, Francisca, Catalina, Nordeste, R4A y Futuro que fueron agrupadas bajo la denominación de Sistema del Medio.

Para el análisis estructural del yacimiento se tuvieron en consideración únicamente las vetas puestas en explotación desde el inicio de actividades de la mina (Martha, R4, Belén, Catalina, Francisca y Nordeste), por ser éstas las que cuentan con un mejor acceso y un mayor volumen de información (Figura 4.2a).

El Sistema Martha-R4 está compuesto por una única estructura dividida informalmente en dos segmentos, denominados Veta Martha y Veta R4 (Figura 4.2a y b), que se caracterizan por una orientación general NO-SE y una inclinación de bajo ángulo hacia el SO. El mismo está compuesto por una red anastomosada de vetas y vetillas que se bifurcan y unen conformando una estructura continua con un espesor medio de 1,5 m y un máximo de hasta 5 metros (Figura 4.2b). El conjunto se desarrolla como una corrida mineralizada con afloramientos discontinuos de casi 600 m a lo largo del rumbo y hasta 250 m de profundidad según la inclinación.

Figura 4.2. Distribución de las vetas en Mina Martha



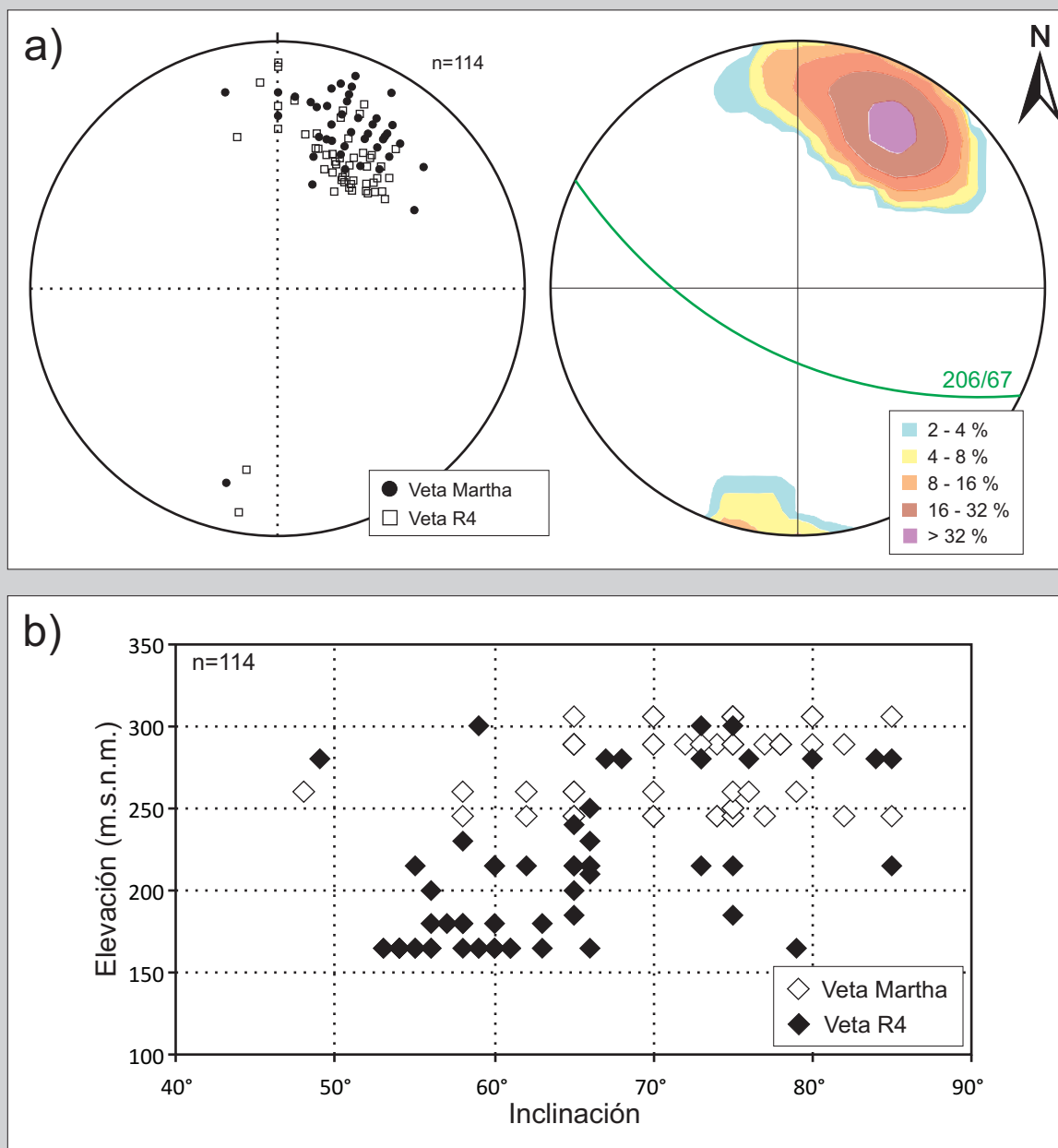
Distribución de las estructuras mineralizadas en Mina Martha: a) Mapeo de superficie mostrando la ubicación de las distintas estructuras mineralizadas y su relación con los tres sistemas de vetas propuestos.



Aspecto general de las vetas en interior mina. c) Red anastomosada de vetas y vetillas conformando la Veta R4 (Sistema Martha-R4); d) Aspecto tabular de la veta Catalina (Sistema del Medio).

Como puede observarse en el diagrama de densidad de polos de la Figura 4.3a, este sistema está caracterizado por una dirección principal de orientación media con Rbz 206/67 que presenta una moderada variabilidad. Cuando se analizan las inclinaciones, se puede apreciar una progresiva disminución de las mismas al incrementarse la profundidad (Figura 4.3b), sugiriendo una posible geometría lítrica para esta estructura.

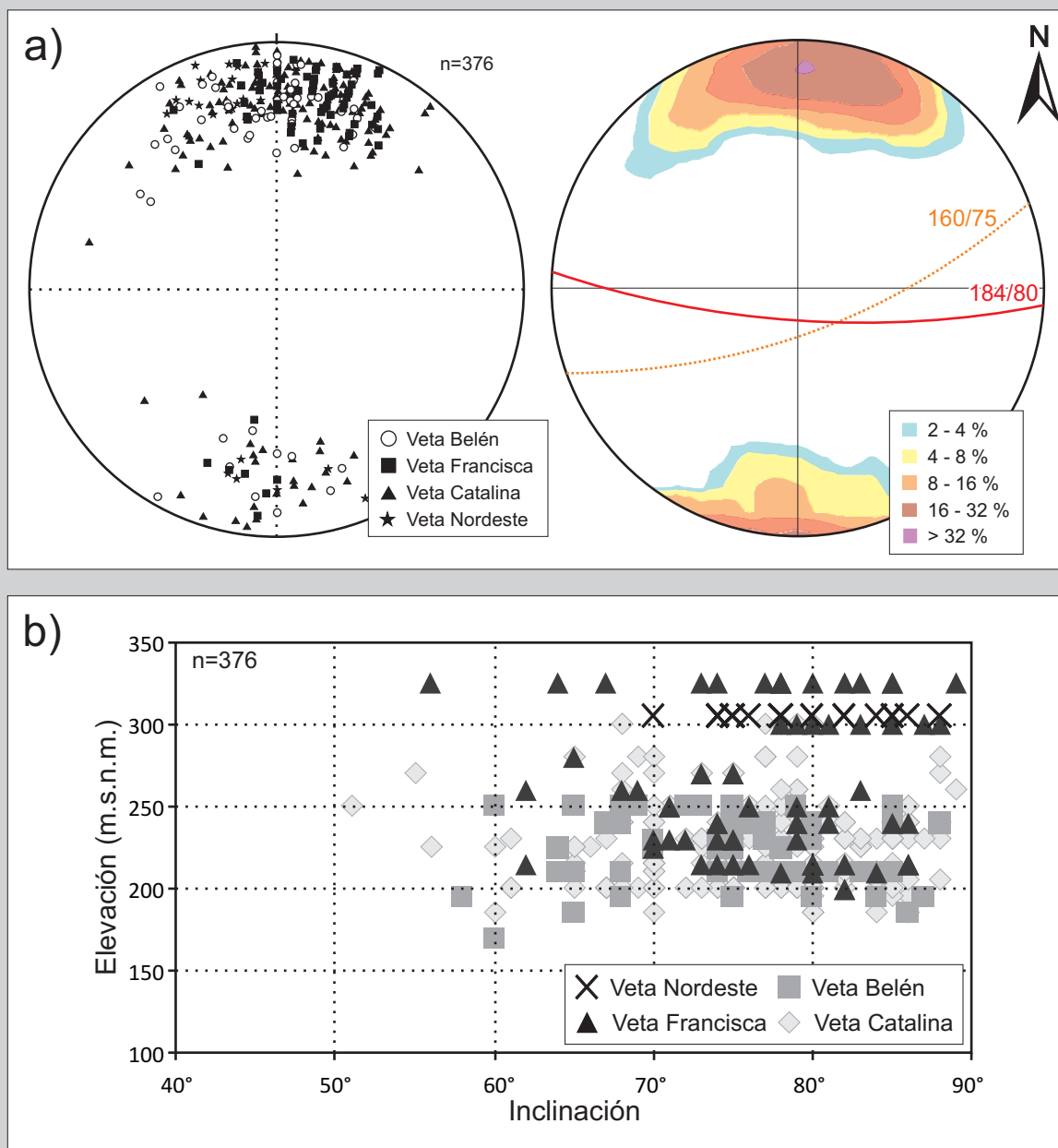
El Sistema del Medio está compuesto por varias estructuras subparalelas de rumbo general E-O e inclinación con alto ángulo hacia el S. Dentro de este sistema se encuentran las vetas Belén, Catalina,

Figura 4.3. Orientación de las vetas en Mina Martha


Geometría de los cuerpos mineralizados del sistema Martha-R4. a) Diagramas de polos mostrando la orientación de las principales estructuras mineralizadas (red de Wulff, hemisferio inferior). b) Gráfico bivariado mostrando la variación en las inclinaciones de las vetas en función de la profundidad.

Francisca y Nordeste (Figura 4.2a, b), que desarrollan espesores medios de entre 0,5 y 1 m, y que pueden alcanzar máximos de hasta 2,5 m. Las estructuras principales están caracterizadas por vetas continuas con geometrías tabulares (Figura 4.2c), que por sectores desarrollan ramificaciones oblicuas de menor espesor que las interconectan. El conjunto de vetas que conforman el Sistema del Medio desarrollan corridas mineralizadas de entre 150 y 450 m a lo largo del rumbo y hasta 200 m de profundidad según la inclinación.

Si bien todas las estructuras que componen este sistema poseen orientaciones con Rbz promedio ligeramente diferentes (Belén 178/79, Catalina 185/79, Francisca 191/80, Nordeste 167/85), en general están caracterizadas por una dirección principal con una orientación media de Rbz 184/80 (Figura 4.4a),

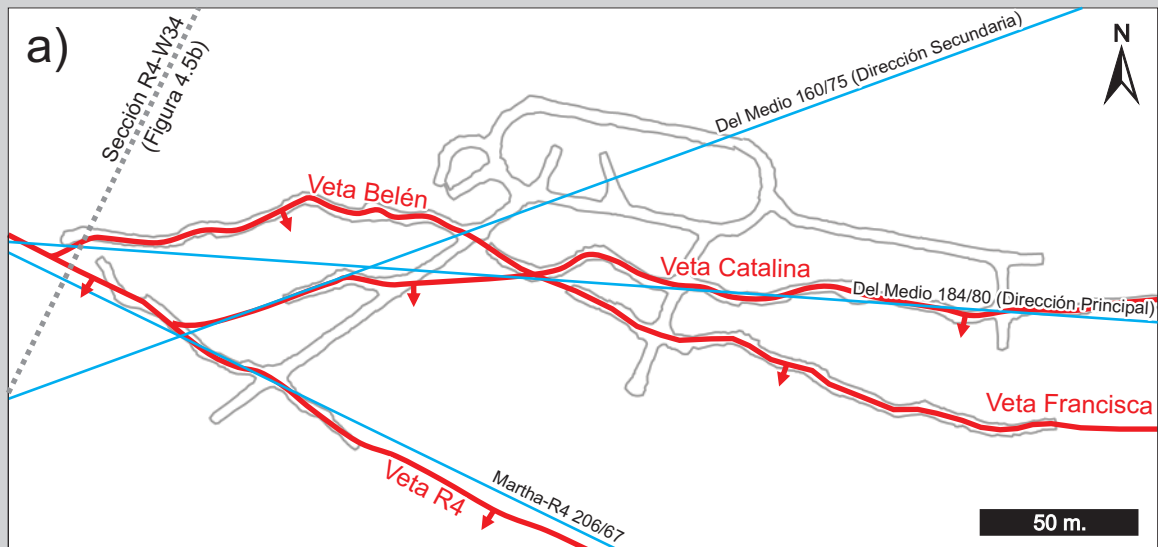
Figura 4.4. Orientación de las vetas en Mina Martha


Geometría de los cuerpos mineralizados del Sistema del Medio. a) Diagramas de polos mostrando la orientación de las principales estructuras mineralizadas (red de Wulff, hemisferio inferior). b) Gráfico bivariado mostrando la variación en las inclinaciones de las vetas en función de la profundidad.

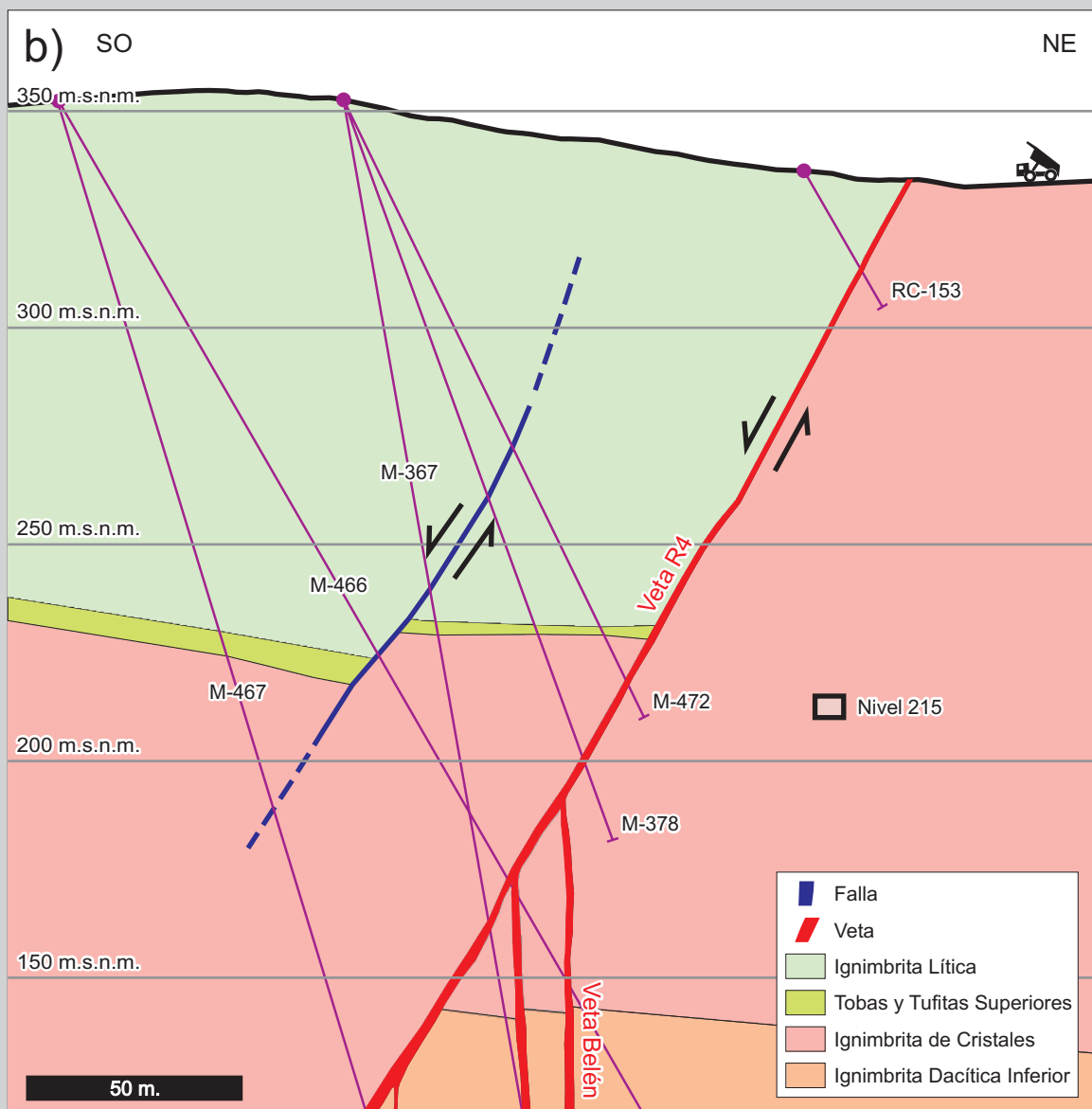
y una dirección secundaria con orientación de Rbz 160/75 que se encuentra subordinada en la mayoría de las estructuras con excepción de la Veta Nordeste, donde se corresponde con la dirección principal. Finalmente, y a diferencia del sistema anterior, los cuerpos mineralizados que lo componen se caracterizan por inclinaciones de alto ángulo en todos los niveles (Figura 4.4b).

El Sistema Martha-R4 se encuentra desarrollado dentro o en las proximidades de una falla normal bien definida que yuxtapone la Ignimbrita Lítica sobre la Ignimbrita de Cristales, y que genera desplazamientos de más de 120 m (Figura 4.5). La zona de falla posee entre 2 y 10 m de espesor y está caracterizada por una intensa fracturación dominada por la presencia de roca molida y fracturada. En los sectores más espesos la zona de falla presenta un aspecto anastomosado donde quedan englobados

Figura 4.5. Orientación de las vetas en Mina Martha



Mapa correspondiente al Nivel 185 de la mina mostrando las relaciones entre los principales sistemas de vetas.



Sección R4-W34 mostrando las relaciones dentro los principales sistemas de vetas vistas en perfil.

fragmentos menos deformados de la roca de caja (Lee, 2005). Si bien los cuerpos mineralizados se desarrollan mayormente dentro de la zona de falla, también pueden observarse tanto en el bloque alto como en el bloque bajo de la falla.

Los cuerpos vetiformes que conforman el Sistema del Medio, se encuentran completamente desarrollados en el bloque bajo de la falla Martha-R4 (Figura 4.5) y a diferencia del anterior no están contenidos dentro de fallas preexistentes, aunque desarrollan pequeños desplazamientos normales de entre 5 y 20 m en los contactos entre la Ignimbrita de Cristales, las Tobas y Tufitas Inferiores y la Ignimbrita Dacítica Fina.

Dentro de este esquema las vetas Belén y Francisca conforman una única estructura que cruza a la Veta Catalina sin generar un desplazamiento aparente, formando un arreglo similar a una “x” en la parte central del sistema (Figura 4.5a). A medida que estas estructuras se aproximan al Sistema Martha-R4 cambian su orientación, haciéndose predominante la dirección secundaria del sistema, para luego converger y fusionarse con la Veta R4 (Figura 4.5).

4.4.2. Geometría del relleno en las estructuras mineralizadas

Para este trabajo se sigue la denominación utilizada por Micklethwaite (2009), quien considera a las vetas como rocas de falla que cementan estructuras a lo largo de las cuales ha ocurrido un desplazamiento de cizalla significativo, ya sea a lo largo de la inclinación (falla normal o inversa), a lo largo del rumbo (fallas transcurrentes), o bien de tipo mixto.

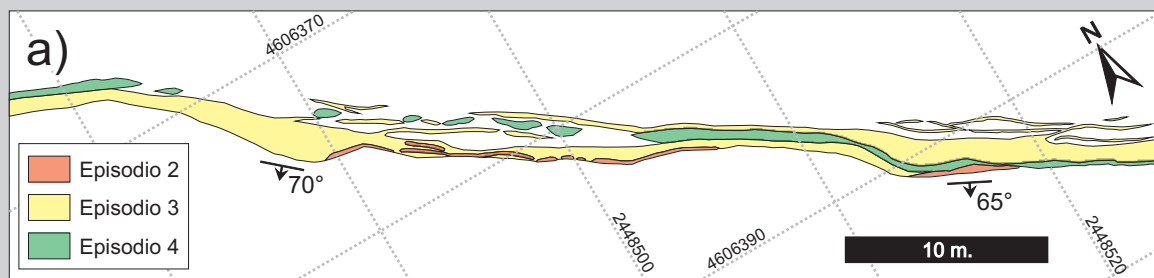
Las estructuras mineralizadas reconocidas en Mina Martha se caracterizan por un relleno hidrotermal compuesto por 9 etapas mineralizantes que pueden ser resumidas en 4 episodios (Capítulo 3). El primero de ellos (E1) se compone por una red de vetillas estériles de cuarzo con salbandas de adularia y se encuentra poco representado en el yacimiento.

El segundo episodio (E2) es el responsable de las altas leyes presentes en ambos sistemas de vetas del yacimiento, y está compuesto por 4 pulsos que muestran un contenido de sulfuros de plata y metales base progresivamente menor, y ganga de adularia y cuarzo con cantidades menores de sericita. Las texturas típicas de este episodio corresponden a brechas, aunque también pueden observarse sectores con bandeados crustiformes.

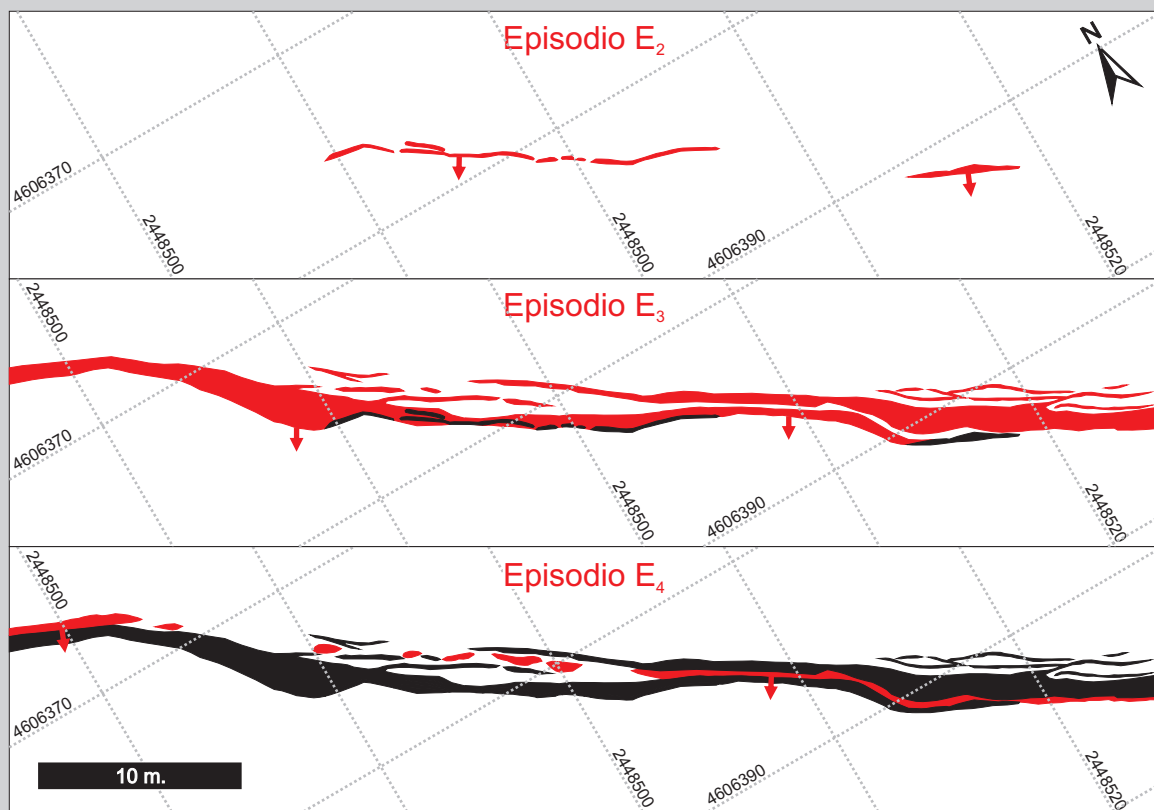
El tercer episodio (E3) consiste en 2 pulsos estériles caracterizados por abundante adularia masiva y cuarzo en menores proporciones. Estos pulsos poseen texturas típicamente brechosas y son de amplia distribución en todas las estructuras mineralizadas del yacimiento, llegando en algunos casos a constituir el 95% de las vetas.

Por último, el cuarto episodio (E4) está formado por dos etapas tardías que remobilizan parcialmente los metales depositados durante E2. Se caracteriza por brechas con relleno calcedónico discontinuas con un contenido de sulfuros fuertemente variable al que se asocian finas vetillas de sulfosales de plata que localmente pueden constituir una red densa. El mismo tiene una amplia distribución en el Sistema Martha-R4, sin embargo se encuentra ausente en el Sistema del Medio. Como fuese planteado en el Capítulo 3, este episodio corresponde a un evento tardío dentro del esquema paragenético de Mina Martha, sin embargo puede ser localmente muy importante ya que contribuye a incrementar la ley de la mineralización.

Figura 4.6. Geometría del relleno de las estructuras mineralizadas



Mapa del Nivel 289 de la Veta Martha, mostrando la distribución de los principales estadios de la mineralización (basado en los mapeos de González Guillot et al., 2004)



Crecimiento secuencial de la Veta Martha entre los episodios 2 y 4. En negro se grafican los segmentos preexistentes al momento de la deposición de cada episodio (en rojo).

Partiendo de los mapeos realizados por [Gonzalez Guillot et al. \(2004\)](#), se realizó un análisis de la distribución espacial de los episodios E2, E3 y E4 dentro del relleno hidrotermal de la Veta Martha, a lo largo de 60 m del nivel 289 de la mina (Figura 4.6a).

Como puede observarse en la Figura 4.6 (a y b), el episodio de alta ley E2 se desarrolla hacia el techo de la estructura formando dos segmentos desconectados, que desarrollan 20 m y 5 m de longitud según su rumbo y espesores que alcanzan hasta 0,4 m.

A diferencia del anterior, el episodio de baja ley E3 se desarrolla mayormente hacia el piso de la estructura (Figura 4.6a y b), y se caracteriza por una elevada continuidad según su rumbo y por desarrollar importantes espesores de hasta 2 m.

Finalmente el episodio E4, que desarrolla sectores de alta ley únicamente en las proximidades de E2, está caracterizado por un desarrollo discontinuo dominado por cuerpos lenticulares separados entre 1 y 10 m (Figura 4.6a y b), y puede reconocerse tanto hacia el techo como hacia el piso de la estructura con

espesores máximos de hasta 0,7 m.

La presencia de sucesivas etapas de relleno es indicativa de múltiples episodios de apertura y relleno en las estructuras (Gonzalez Guillot *et al.*, 2004; Micklethwaite, 2009; Wallier, 2009), lo que sugiere que las fallas que contienen la mineralización crecieron en forma progresiva a medida que los fluidos circulaban y producían la depositación de la mineralización. Asimismo, la continuidad y similitud del relleno hidrotermal observado en ambos sistemas estaría sugiriendo que ambos conjuntos de vetas se originaron en forma simultánea.

Se denomina zonas o estructuras de transferencia (transfer structures) a las que conectan dos segmentos de falla vecinos, y que se generan como resultado del crecimiento y propagación de las mismas (Cunningham y Mann, 2008; Micklethwaite, 2009; Rossello, 2001; Rossello, 2009). Este tipo de estructuras son de tipo fractal, es decir que se repiten en forma independiente a la escala de observación; y reciben distintas denominaciones de acuerdo al arreglo geométrico y cinemático que presenten (rampas de relevo, solapamientos, resaltos o sigmoides, colas de caballo, etc.).

Mina Martha se caracteriza por la presencia de estructuras de transferencia en la mayoría de las vetas, aunque las mejores desarrolladas corresponden a las denominadas zonas de solapamiento y los sigmoides o resaltos extensionales.

Se denominan zonas de solapamiento (step-overs) a las áreas desarrolladas entre dos segmentos de falla/veta vecinos que presentan un arreglo en echelon, y que pueden o no estar conectadas por fallas/vetas de menor jerarquía (Micklethwaite, 2009). En el caso de Mina Martha (Figura 4.7), estas estructuras generalmente presentan dimensiones que van desde decenas de metros (Figura 4.7a) hasta unos pocos metros (Figura 4.7b y c), y en general los segmentos principales de veta se encuentran conectados por estructuras menores que terminan definiendo estructuras de tipo flor negativa (Figura 4.7b) (Cunningham y Mann, 2008; Rossello, 2001).

Los sigmoides (jogs) corresponden segmentos de estructura con geometría sigmoidal a lenticular que se dan como resultado de resaltos o cambios en el rumbo y/o la inclinación de las vetas (Micklethwaite, 2009; Rossello, 2009), y representan zonas de apertura localizada dentro de los sistemas de fallas/vetas. Ambos sistemas de vetas se caracterizan por la presencia de sigmoides dilatacionales con cinemática mixta de tipo normal-sinistral y variadas dimensiones (desde unos pocos centímetros hasta varias decenas de metros; Figura 4.8). Estos se desarrollan como rellenos de resaltos de alivio (releasing bends), principalmente a lo largo de cambios de rumbo e inclinación de las estructuras mineralizadas de ambos sistemas. Si bien Lee (2005) menciona la presencia de sigmoides desarrollados en resaltos constrictivos (restraining bends), los mismos no pudieron ser observados durante los trabajos de campo, por encontrarse en sectores inaccesibles de los laboreos mineros.

Si bien las estructuras observadas en el interior mina suelen estar caracterizadas por rellenos hidrotermales multipulso (donde participan mayormente E2 y E3), en algunos casos pueden observarse jogs rellenos con diferentes episodios que desarrollan geometrías similares, lo que estaría indicando que fueron formados bajo un mismo régimen tectónico (Figura 4.9).

Una característica de las estructuras mineralizadas reconocidas en Mina Martha es la diferencia textural que existe en los rellenos de las estructuras pertenecientes a los dos grandes sistemas de vetas. Las vetas del Sistema Martha-R4 se caracterizan por jogs dilatacionales de varios metros de extensión que están rellenos por material hidrotermal dominado por texturas típicamente brechosas, donde los

Figura 4.7. Zonas de transferencia



Zonas de transferencia en los diferentes sistemas de vetas de Mina Martha. a) Zona de transferencia en las vetas del Medio, desarrollada entre la Veta Francisca y la Veta Catalina (nivel 270); b) Zona de transferencia dentro de la Veta R4 (nivel 280); c) Zona de transferencia con desarrollo de vetillas tensionales en la Veta Futuro. Vista en Superficie.

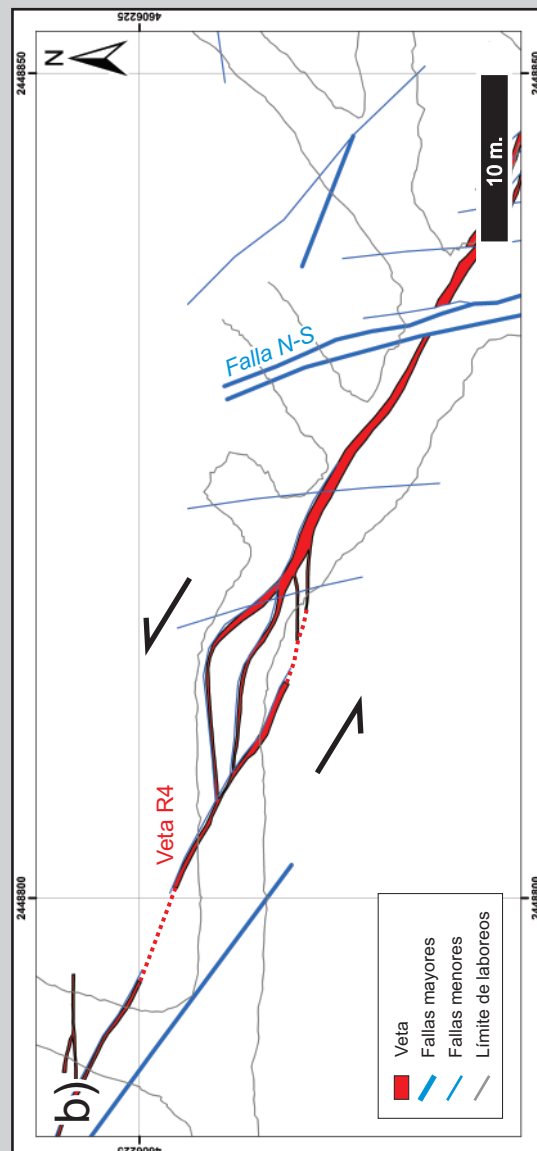
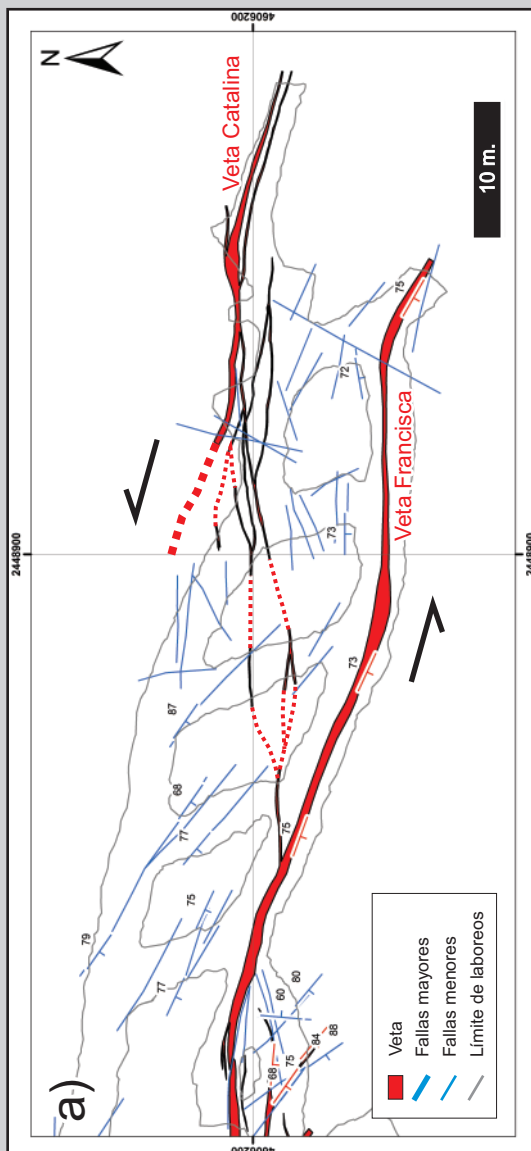
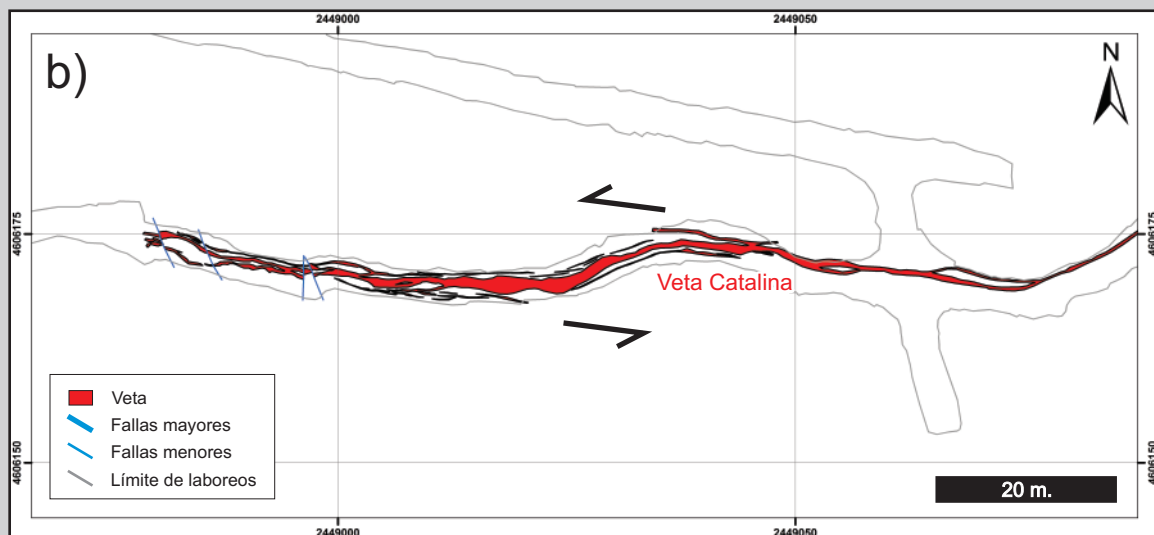
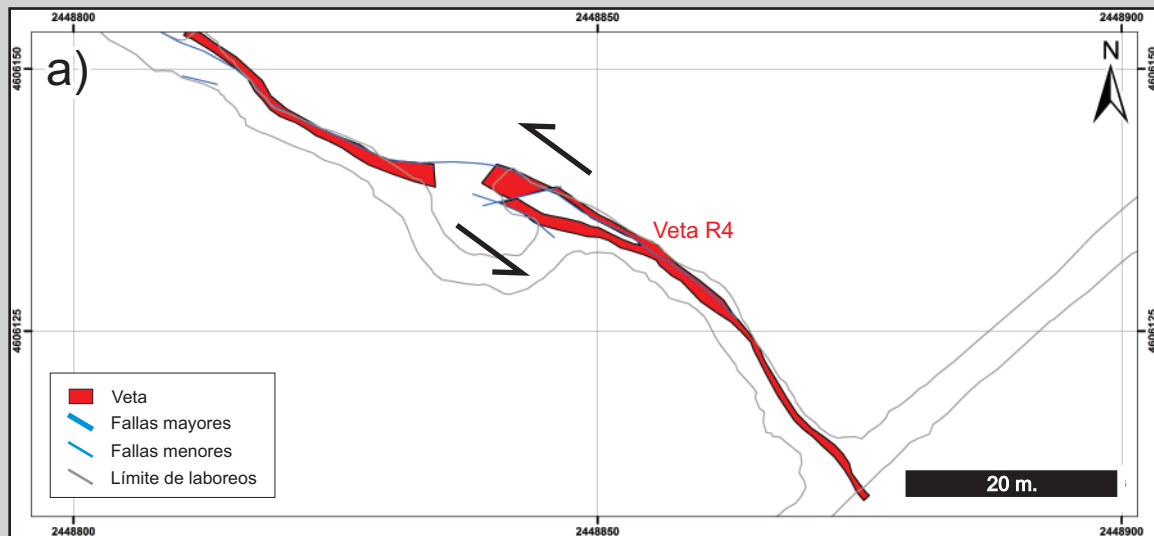
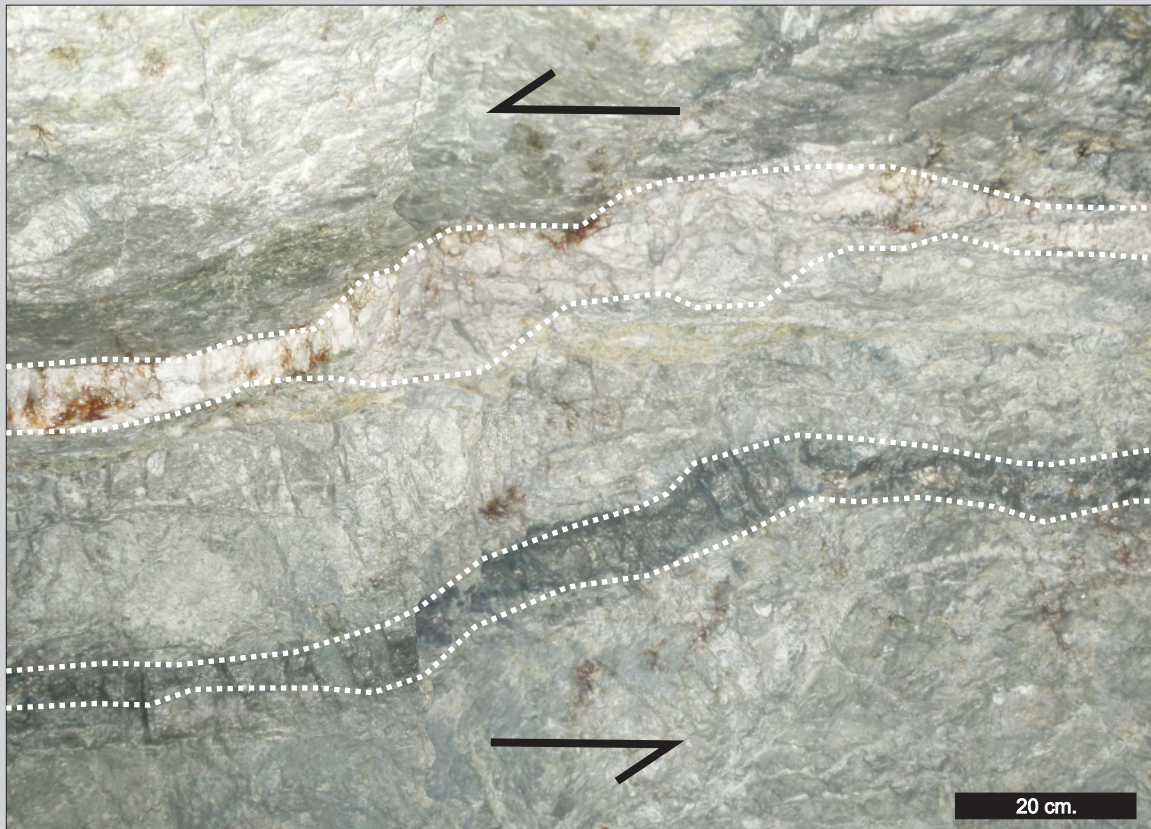


Figura 4.8. Jogs dilatacionales



Jogs dilatacionales en los diferentes sistemas de vetas de Mina Martha. a) Sigmoide sinistral en la Veta R4 (Nivel 200); b) Sigmoide sinistral en la Veta Catalina (Nivel 170); c) Fotografía de un sigmoide sinistral en la Veta Martha Sur (Superficie); d) Vista en planta de un sigmoide sinistral en la Veta Catalina (Superficie).

Figura 4.9. Tipo de rellenos en jogs dilatacionales



Sigmoides sinestrales en Veta Belén (Nivel 170). El sigmoide superior se encuentra relleno con material hidrotermal correspondiente al episodio E3 (estéril), en tanto que el sigmoide inferior está caracterizado por relleno correspondiente al episodio E2 (mineralizado).

bandeados costriformes y los espacios abiertos están prácticamente ausentes o muy restringidos (Figura 4.10a y b). A diferencia del sistema anterior, el Sistema del Medio se caracteriza por jogs mas pequeños caracterizados por rellenos hidrotermales donde predominan los bandeados costriformes y el desarrollo de grandes cavidades drusiformes ubicadas en los sectores centrales (Figura 4.10c y d), y si bien pueden reconocerse sectores brechosos, éstos son de extensión restringida dentro de los sigmoides. Como el relleno hidrotermal observado en ambos sistemas se originó en forma sincrónica, las diferencias texturales observadas estarían indicando que el Sistema del Medio acomodó un mayor porcentaje de apertura que el Sistema Martha-R4, que habría soportado una mayor componente de cizalla.

4.4.3. Cinemática de las estructuras mineralizadas

Durante los trabajos de campo no se pudieron observar estriados, ni una orientación preferencial de las fibras minerales dentro de las estructuras mineralizadas, lo que dificultó la determinación de la dirección de apertura de las vetas. No obstante, la geometría de los sigmoides (jogs), zonas de transferencia (step-overs) y lo observado en las secciones geológicas, permiten interpretar un desplazamiento mixto de tipo normal-sinistral para todos los sistemas de vetas (Figuras 4.5b, 4.7 y 4.8).

Si bien la presencia de rellenos hidrotermales es indicativo de una importante apertura en ambos sistemas de vetas, las diferencias texturales observadas en los sigmoides, sugieren una mayor componente de dilatación en el Sistema del Medio en comparación con lo observado en las estructuras

Figura 4.10. Texturas en jogs dilatacionales

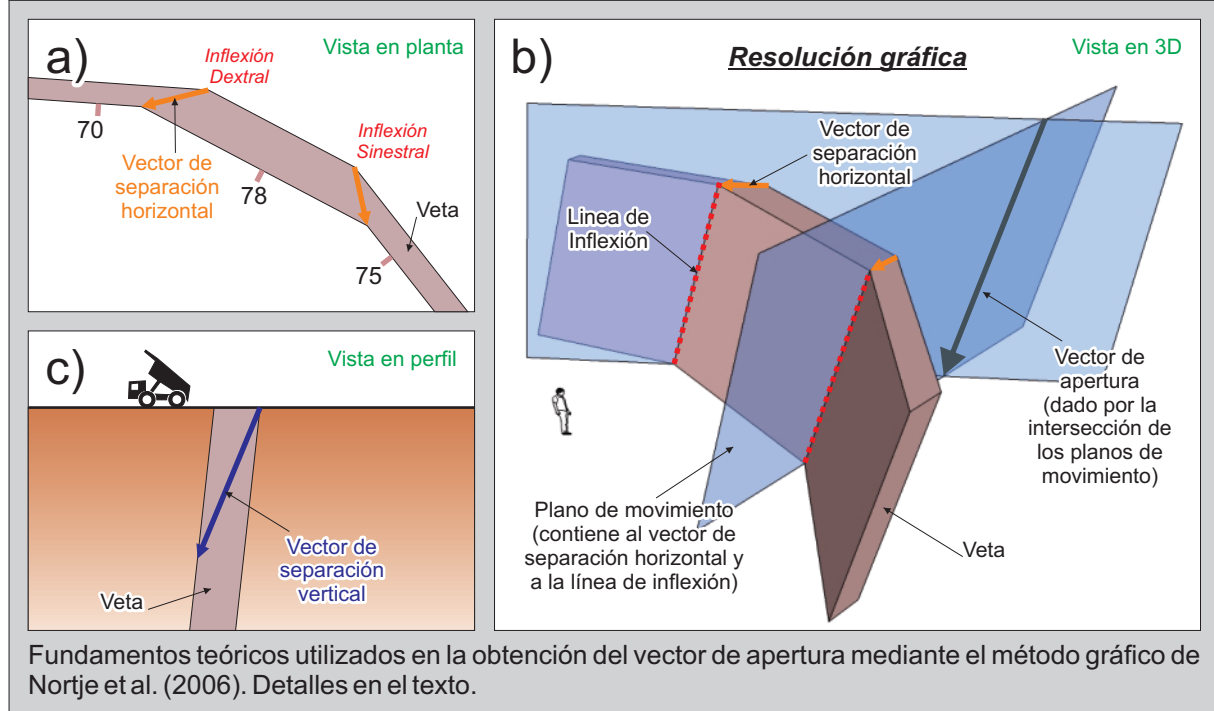


a) Sigmoide sinistral en Veta R4 (Nivel 165), caracterizado por la presencia de brechas con relleno de cuarzo y adularia masivos. b) Detalle de las brechas.



c) Sigmoide sinistral en Veta Catalina (Nivel 185), caracterizado por la presencia de grandes espacios abiertos ocupados por drusas de cuarzo y adularia. d) Detalle de las drusas.



Figura 4.11. Dirección de apertura


que componen el Sistema Martha-R4.

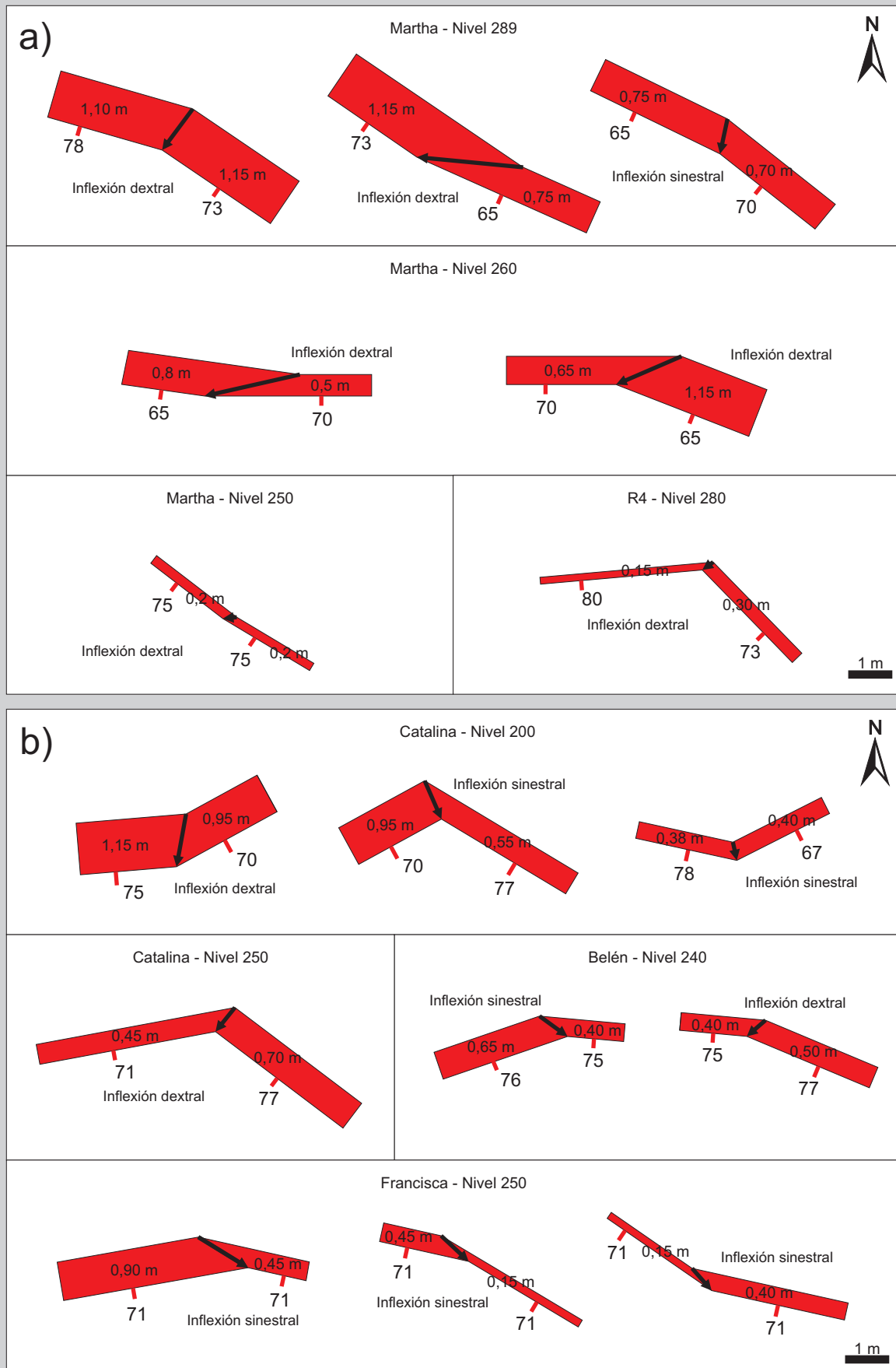
Nortje *et al.* (2006) desarrolló una metodología para calcular el vector de apertura de estructuras vetiformes utilizando las orientaciones de inflexiones presentes en las estructuras mineralizadas. Una inflexión corresponde a la unión de dos segmentos planares de veta que poseen una orientación diferente (Figura 4.11a), de acuerdo al ángulo que formen ambos segmentos estos pueden tener o no el mismo espesor. Para poder utilizar este método ambos segmentos deben haberse formado simultáneamente; asunción que en Mina Martha está apoyada por la continuidad del relleno hidrotermal a ambos lados de las inflexiones.

La geometría de las inflexiones pueden ser descritas con los términos “dextral” y “sinistral” (Figura 4.11a) realizando una analogía con los sigmoides extensionales. Éstas inflexiones pueden relacionarse con el sentido del desplazamiento de la estructura, de manera que los segmentos de veta más finos acomodan la mayor cantidad de desplazamiento de rumbo, en tanto que el segmento más grueso tiende a acomodar la mayor cantidad de apertura.

Cuando dos segmentos de la veta con orientaciones diferentes se encuentran (Figura 4.11b), se generan dos líneas de inflexión (una ubicada en el techo y otra en el piso de la veta) que definen el plano de movimiento. En ese plano está contenido el vector de apertura de la veta. Sin embargo solamente con esa información, el vector de apertura de la estructura no queda definido, y cualquier distancia medida entre las dos líneas de inflexión corresponde a una separación aparente (Figura 4.11a y c), y no se corresponde necesariamente con la dirección del vector de apertura.

Cuando existen varias inflexiones con diferentes orientaciones en una misma estructura que se han abierto simultáneamente, estas definen planos de movimiento de diferente orientación (Figura 4.11b). Dado que dentro de cada uno de estos planos está incluido el vector de apertura, la intersección estadística de todos esos planos terminará por definir el vector de apertura para la estructura mineralizada (Nortje *et al.*, 2006).

Figura 4.12. Inflexiones en las vetas de Mina Martha

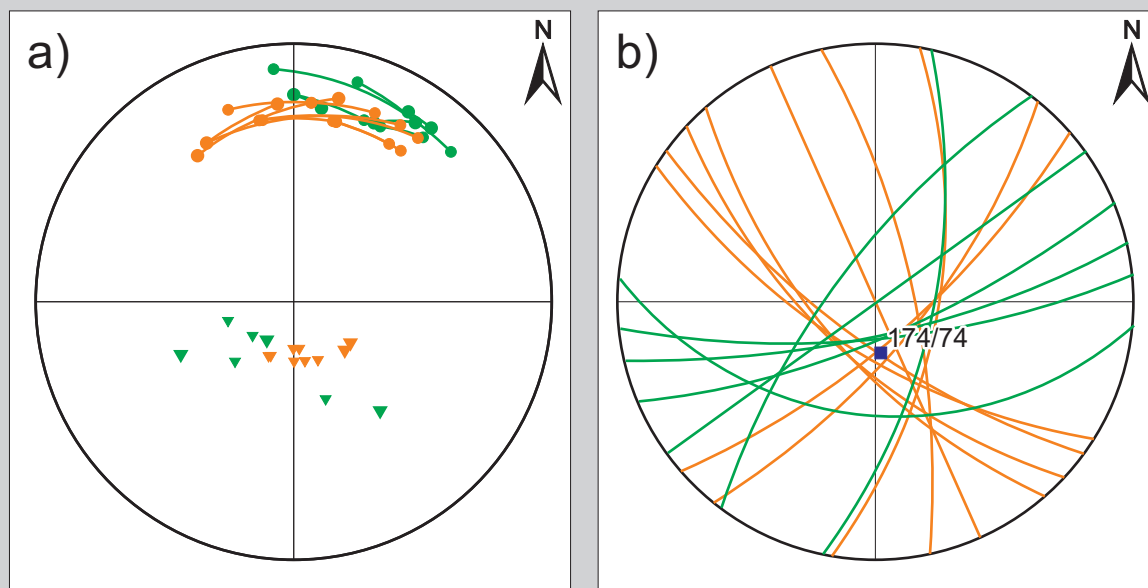


Inflexiones reconocidas en los principales sistemas de vetas de Mina Martha. a) Sistema Martha-R4; b) Sistema del Medio.

Tabla 4.1. Análisis cinemático de las inflexiones

| Sistema | Nivel | Segmento | Tipo de inflexión | Segmento | | | | | Línea de Inflexión | | Vector Horizontal de Apertura | | Plano de Movimiento | |
|---------------------|------------------|----------|-------------------|----------|-----|-------------|--------|--|--------------------|------------|-------------------------------|------------|---------------------|-------------|
| | | | | Rumbo | Rbz | Inclinación | Espezo | | Dirección | Buzamiento | Dirección | Buzamiento | Rbz | Inclinación |
| Sistema Martha - R4 | Martha - N289 | A | Dextral | 106 | 196 | 78 | 1,1 | | 254 | 68 | 217 | 0 | 307 | 76 |
| | | | | 124 | 214 | 73 | 1,15 | | | | | | | |
| | Martha - N289 | B | Dextral | 124 | 214 | 73 | 1,15 | | 142 | 45 | 275 | 0 | 185 | 54 |
| | | | | 114 | 204 | 65 | 0,75 | | | | | | | |
| | Martha - N289 | C | Sinestral | 116 | 206 | 65 | 0,75 | | 162 | 57 | 192 | 0 | 102 | 72 |
| | | | | 128 | 218 | 70 | 0,7 | | | | | | | |
| | R4 - N280 | D | Dextral | 85 | 175 | 80 | 0,15 | | 230 | 73 | 234 | 0 | 144 | 89 |
| | | | | 136 | 226 | 73 | 0,3 | | | | | | | |
| | Martha - N260 | E | Dextral | 98 | 188 | 65 | 0,8 | | 244 | 50 | 257 | 0 | 167 | 79 |
| | | | | 90 | 180 | 70 | 0,5 | | | | | | | |
| | Martha - N260 | F | Dextral | 90 | 180 | 70 | 0,65 | | 224 | 63 | 247 | 0 | 157 | 79 |
| | | | | 111 | 201 | 65 | 1,15 | | | | | | | |
| Sistema del Medio | Martha - N250 | G | Dextral | 128 | 218 | 75 | 0,2 | | 215 | 75 | 264 | 0 | 174 | 79 |
| | | | | 121 | 211 | 75 | 0,2 | | | | | | | |
| | Catalina - N200 | H | Dextral | 85 | 175 | 75 | 1,15 | | 127 | 68 | 190 | 0 | 100 | 70 |
| | | | | 61 | 151 | 70 | 0,95 | | | | | | | |
| | Catalina - N200 | I | Sinestral | 61 | 151 | 70 | 0,95 | | 159 | 70 | 156 | 0 | 246 | 89 |
| | | | | 121 | 211 | 77 | 0,55 | | | | | | | |
| | Catalina - N200 | J | Sinestral | 102 | 192 | 78 | 0,38 | | 135 | 68 | 168 | 0 | 78 | 78 |
| | | | | 63 | 153 | 67 | 0,4 | | | | | | | |
| | Catalina - N250 | K | Dextral | 79 | 169 | 71 | 0,45 | | 171 | 71 | 219 | 0 | 129 | 76 |
| | | | | 127 | 217 | 77 | 0,7 | | | | | | | |
| | Bélen - N240 | L | Sinestral | 71 | 161 | 76 | 0,65 | | 182 | 75 | 126 | 0 | 216 | 77 |
| | | | | 95 | 185 | 75 | 0,4 | | | | | | | |
| | Bélen - N240 | M | Dextral | 95 | 185 | 75 | 0,4 | | 175 | 75 | 229 | 0 | 139 | 78 |
| | | | | 113 | 203 | 77 | 0,5 | | | | | | | |
| | Francisca - N250 | N | Sinestral | 80 | 170 | 71 | 0,9 | | 181 | 71 | 122 | 0 | 212 | 74 |
| | | | | 103 | 193 | 71 | 0,45 | | | | | | | |
| | Francisca - N250 | O | Sinestral | 103 | 193 | 71 | 0,45 | | 205 | 71 | 133 | 0 | 223 | 72 |
| | | | | 121 | 211 | 71 | 0,15 | | | | | | | |
| | Francisca - N250 | P | Sinestral | 125 | 215 | 71 | 0,15 | | 205 | 71 | 139 | 0 | 229 | 73 |
| | | | | 102 | 192 | 71 | 0,4 | | | | | | | |

Figura 4.13. Análisis cinemático según Nortje et al. (2006)



Resolución gráfica por el método de Nortje et al. (2006) para las vetas de Mina Martha. a) Obtención del Rbz de las líneas de inflexión (triángulos) a partir de ambos segmentos de las inflexiones de la Figura 4.12 (círculos unidos por líneas); b) Intersección estadística de los planos de movimiento. Red de Wulff, hemisferio inferior (Verde: Sistema Martha-R4, Naranja: Sistema del Medio).

Para las vetas Martha y R4 se pudieron reconocer un total de siete inflexiones, seis de ellas dextrales y una única inflexión sinistral (Figura 4.12a); en tanto que para las Vetas del Medio se pudieron mapear nueve inflexiones, tres de ellas dextrales y seis sinistralas (Figura 4.12b). Dado que todas las estructuras fueron generadas bajo el mismo régimen tectónico, los datos de ambos sistemas de vetas fueron tratados juntos para aumentar la eficacia estadística del método.

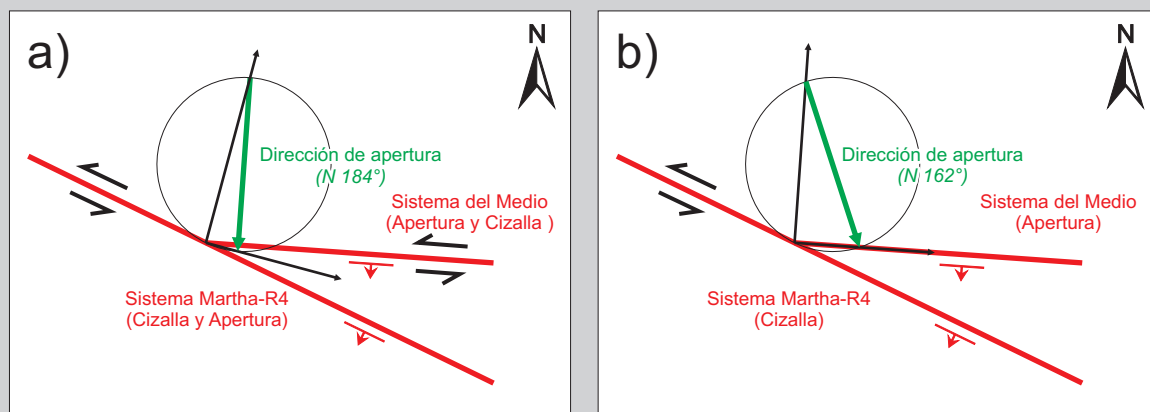
De esta manera, utilizando la orientación de los dos segmentos planares de la veta que definen una inflexión, es posible determinar la orientación de la línea de inflexión (Figura 4.13a). Una vez obtenida esta orientación, es posible determinar la orientación del plano de movimiento al combinarla con la orientación del vector de separación horizontal medido sobre cada inflexión de la estructura (Figura 4.13b). Por último, la reconstrucción de los dieciséis planos de movimiento (Tabla 4.1 y Figura 4.13b) definen un vector de apertura (intersección estadística) con un Rbz medio de 174/74.

Con el fin de cotejar los resultados del método de Nortje et al. (2006), se utilizó el método gráfico de McCoss (1986) para determinar la dirección de apertura en las estructuras mineralizadas. Al tratarse de una construcción geométrica sencilla, este método gráfico presenta la ventaja de ser rápido y expeditivo. El método consiste en determinar dos direcciones principales en función de observaciones de campo: la orientación de la zona de falla que acomoda la mayor deformación por cizalla, y la dirección de máxima apertura dentro de esa zona de falla (a partir de fibras minerales orientadas, sigmoides, vetas tensionales, etc.).

En el caso de Mina Martha, las observaciones de campo muestran que ambos sistemas de vetas están caracterizados por un desplazamiento mixto con una componente de cizalla y una componente de apertura. Sin embargo la componente de cizalla parece ser mayor en el Sistema Martha-R4 que en el Sistema del Medio donde la apertura predomina por sobre la cizalla.

Estas características permiten plantear dos hipótesis contrastantes utilizando las orientaciones

Figura 4.14. Análisis cinemático según McCoss (1986)



Resolución gráfica según el método de McCoss (1986) utilizando las orientaciones medias de ambos sistemas de vetas. Para obtener el vector de apertura se consideraron dos hipótesis de máxima: a) La primera de ellas supone una igual proporción de cizalla y apertura en ambos sistemas de vetas; b) En la segunda se asume que el Sistema Martha-R4 acomoda toda la deformación por cizalla mientras que el Sistema del Medio acomoda toda la apertura.

medias de cada sistema de vetas. La primera de ellas supone que ambos sistemas experimentaron iguales proporciones de cizalla y apertura (Figura 4.14a). La segunda hipótesis consiste en que el sistema Martha-R4 acomoda toda la deformación por cizalla y que el Sistema del Medio representa una situación de apertura pura (Figura 4.14b). De acuerdo a lo expuesto y a las construcciones geométricas de la Figura 4.14, la dirección de apertura tendría una orientación que se encontraría entre N184° y N162°, y cuyo valor promedio es N173°.

Al comparar los resultados, ambos métodos coinciden en que las vetas se formaron bajo un régimen extensional con un vector de apertura orientado hacia el SSE, con azimuth promedio de N174° según Nortje *et al.* (2006) y N173°±11° según McCoss (1986), y una inclinación media de 74° (Nortje *et al.*, 2006).

Cuando estas direcciones son analizadas en función de las orientaciones de ambos sistemas de vetas (Figura 4.15), se puede apreciar que ambos sistemas se caracterizan por una cinemática mixta de tipo normal-sinistral que es acompañada por una importante dilatación.

Dentro de este esquema, las estructuras Martha y R4 acomodan la mayor parte de la deformación por cizalla mediante un desplazamiento de tipo normal con una importante componente sinistral (Figura 4.15a). A diferencia del anterior, las estructuras del Sistema del Medio se caracterizan por dos cinemáticas opuestas, donde la dirección principal estaría caracterizada por un desplazamiento normal-sinistral y la dirección secundaria por un comportamiento normal-dextral (Figura 4.15b). Sin embargo, en ambos casos, el desplazamiento según el rumbo se encuentra subordinado respecto al desplazamiento según la inclinación.

Este esquema cinemático propuesto es coherente con la geometría de los sigmoides, las zonas de transferencias y las diferencias texturales reconocidas tanto sobre la veta Martha-R4 como en la dirección principal de las vetas del Medio. No obstante, en el caso de la dirección secundaria del Sistema del Medio, las observaciones de campo no son suficientes como para corroborar o descartar el posible comportamiento normal-dextral descrito anteriormente.

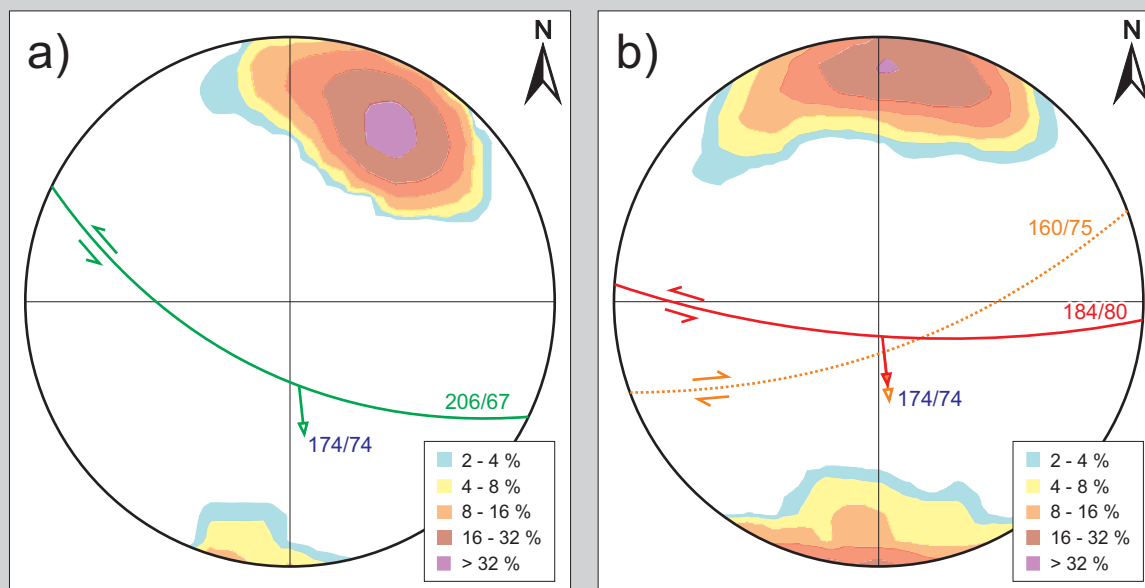
Figura 4.15. Resultados del análisis cinemático


Figura ilustrando la cinemática de las principales estructuras mineralizadas. Detalles en el texto. Red de Wulff, hemisferio inferior.

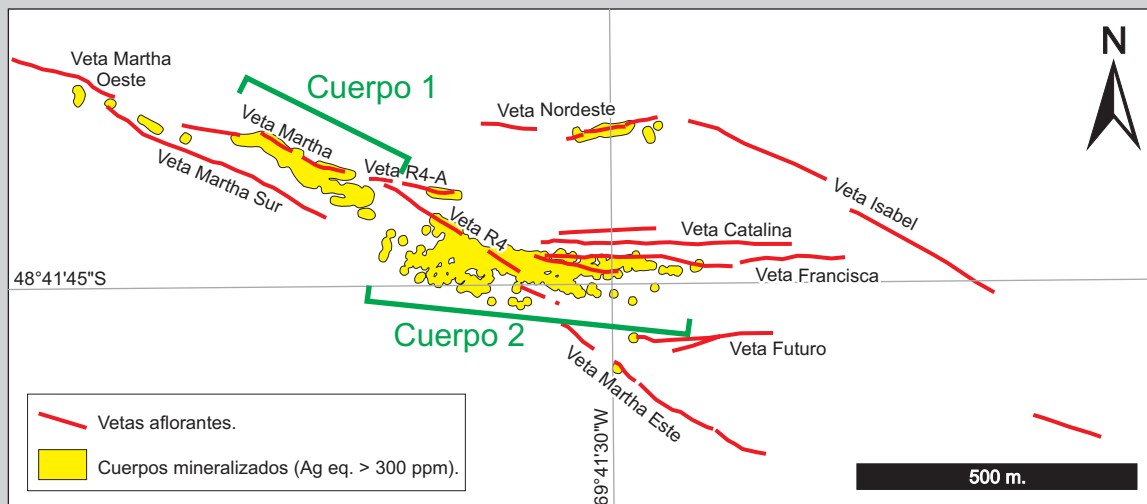
4.4.4. Controles sobre las leyes de la mineralización

Mina Martha conforma un yacimiento caracterizado por una mineralización principalmente argentífera, con oro, metales base, arsénico y antimonio asociados (Capítulo 3; [Gonzalez Guillot et al., 2004](#); [Sims, 2010](#)). Las vetas presentes en ambos sistemas mineralizados poseen contenidos medios de plata en el orden de los 3.500 g/t, que pueden llegar a alcanzar valores máximos de hasta 20.000 g/t ([Schalamuk et al., 2002](#); [Páez et al. 2008](#); [Sims, 2010](#)). La mineralización reconocida hasta el momento en ambos sistemas de vetas se caracteriza por formar clavos (ore shoots) en general discontinuos y con geometría irregular (Figuras 4.16, 4.17 y 4.18), donde se pueden reconocer varios órdenes de magnitud en función de su dimensión, orientación y continuidad.

A escala de yacimiento pueden reconocerse dos grandes áreas donde se desarrollan los sectores de alta ley (Cuerpo 1 y Cuerpo 2 de la Figura 4.16), el primero de ellos compuesto por los tramos de alta ley de la veta Martha y R4-A, y el segundo de ellos agrupando los tramos más ricos de las vetas R4, Catalina, Belén y Francisca. Dentro de este esquema, también pueden reconocerse otros tramos mineralizados de menor jerarquía en las vetas Nordeste, R4-A y Martha Oeste.

En la Figura 4.16 puede observarse que los sectores de alta ley con mayor desarrollo dentro del yacimiento se encuentran principalmente en las proximidades de las intersecciones entre estructuras mineralizadas. En el caso del Cuerpo 1, la zona de alta ley se desarrolla hacia la intersección entre la veta Martha y la veta R4-A, mientras que en el caso del Cuerpo 2 se da entre la veta R4 y el Sistema del Medio. La misma tendencia se observa con las zonas de alta ley de la veta Nordeste, en las proximidades de la veta Isabel, y en el caso Martha Oeste cerca de la intersección con la vetas Martha y Martha Sur. En todos los casos, las zonas de alta ley se cierran progresivamente al alejarse de las respectivas intersecciones. Este comportamiento está señalando un fuerte control estructural para los sectores mineralizados dentro del yacimiento.

Figura 4.16. Distribución de las leyes de Ag



Geometría de los cuerpos mineralizados presentes en Mina Martha. El área coloreada en amarillo corresponde a la proyección en superficie de los sectores con contenidos de Ag eq. mayores a 300 ppm.

Según las secciones longitudinales de las principales vetas (Figuras 4.17 y 4.18), pueden reconocerse dos órdenes de magnitud para los clavos de alta ley. Los clavos de primer orden se desarrollan como zonas amplias que ocupan casi toda la longitud de las estructuras mineralizadas, por lo que su superficie puede exceder los 15.000 m². Se caracterizan por leyes medias a altas, aunque suelen ser irregulares e incluir sectores de baja ley. Estos clavos conforman sectores con una inclinación general muy suave, que definen un rake sobre el plano de las vetas que inclina entre 10° y 15° hacia el sudeste. Estos niveles subhorizontales están desarrollados en las proximidades de cambios litológicos en la roca de caja de las vetas, y son el resultado de la superposición en el espacio de varios clavos de segundo orden.

Los clavos de segundo orden son más pequeños que los anteriores, en general no superan los 2.500 m², y están definidos por zonas de mayor ley dentro de los clavos de primer orden. Estos clavos forman zonas conspicuas de muy alta ley dentro de las vetas, y presentan una inclinación opuesta a los clavos de primer orden, con rakes medidos sobre el plano de la veta que varían entre 30° y 40° hacia el sudoeste (Figuras 4.17 y 4.18).

Existe una correlación entre la posición de los clavos de segundo orden y los sigmoides extensionales observados en ambos sistemas de vetas. En el perfil MH-11 (Figura 4.19) se puede apreciar que un tramo de alta ley de la veta Martha coincide con un sector subvertical de la veta que define una zona de apertura con geometría sigmoidal. Al analizar la posición de este perfil dentro de la sección longitudinal correspondiente a la veta Martha (Figura 4.17 y 4.19), se puede reconocer una correspondencia entre este sigmoide y uno de los clavos mineralizados de segundo orden. Algo similar puede observarse en la sección R4-E25 y en el nivel 170 (Figura 4.20 y Figura 4.8b), donde la mineralización de alta ley se asocia a estructuras sigmoidales desarrolladas en las vetas Catalina y Francisca. Al considerar la posición de este perfil en la sección longitudinal de la veta Catalina (Figura 4.18), también se puede observar una correlación entre la estructura sigmoidal y uno de los clavos de segundo orden.

De lo expuesto anteriormente, se puede concluir que el rake de los clavos de segundo orden corresponde al eje mayor de los sigmoides extensionales. Esta orientación es aproximadamente

Figura 4.17. Sección longitudinal de la veta Martha-R4

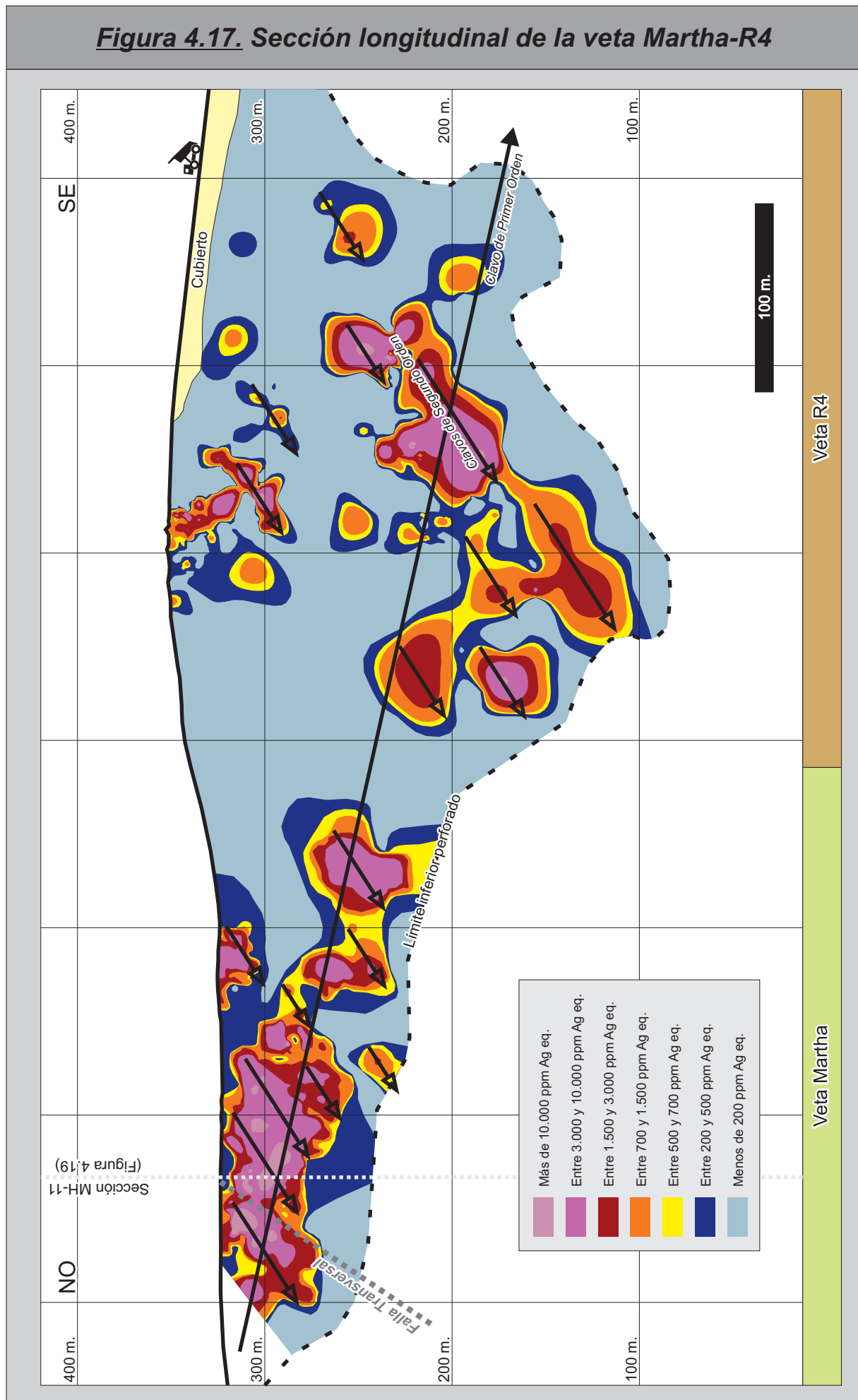


Figura 4.18. Sección longitudinal de la veta Catalina

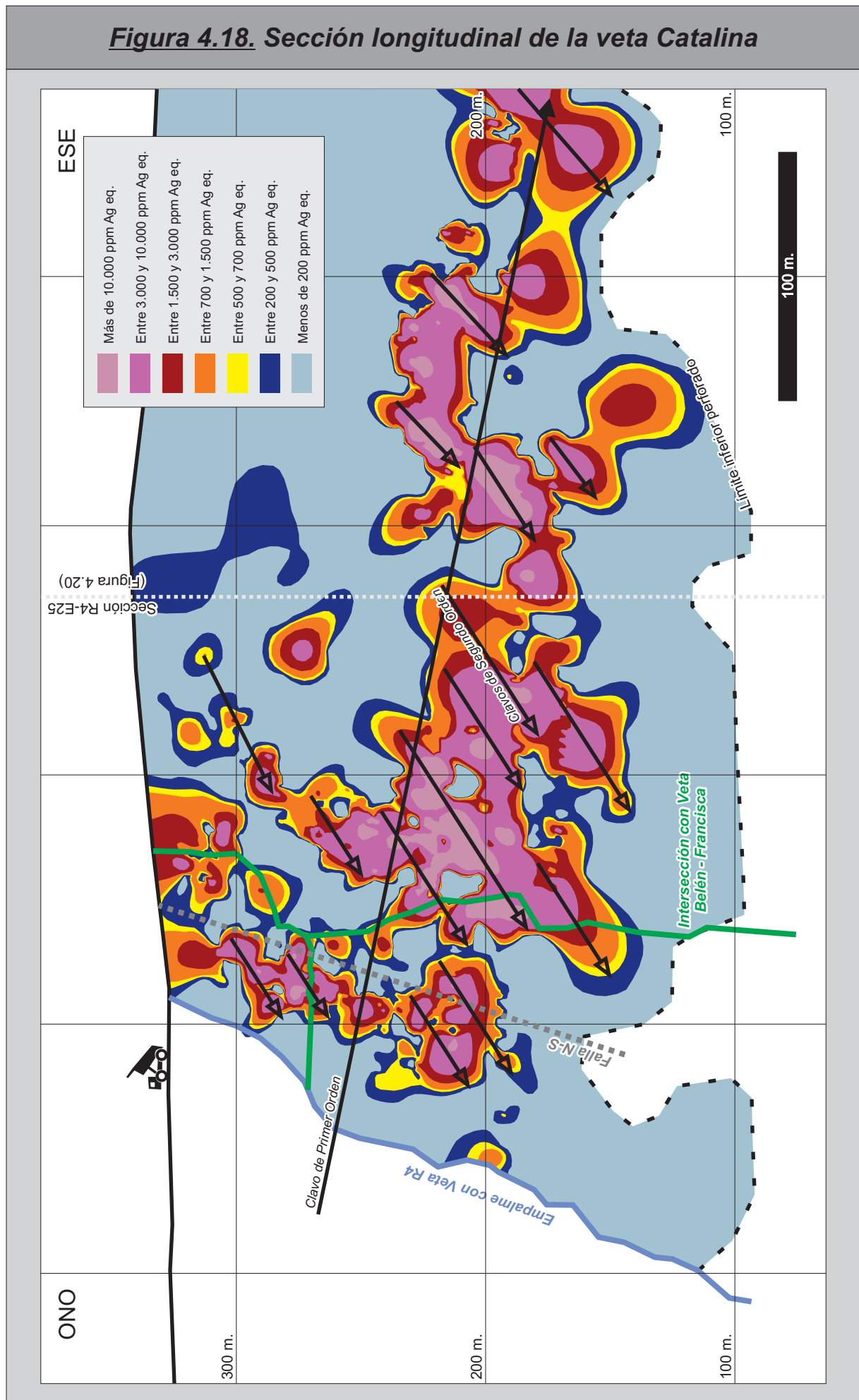
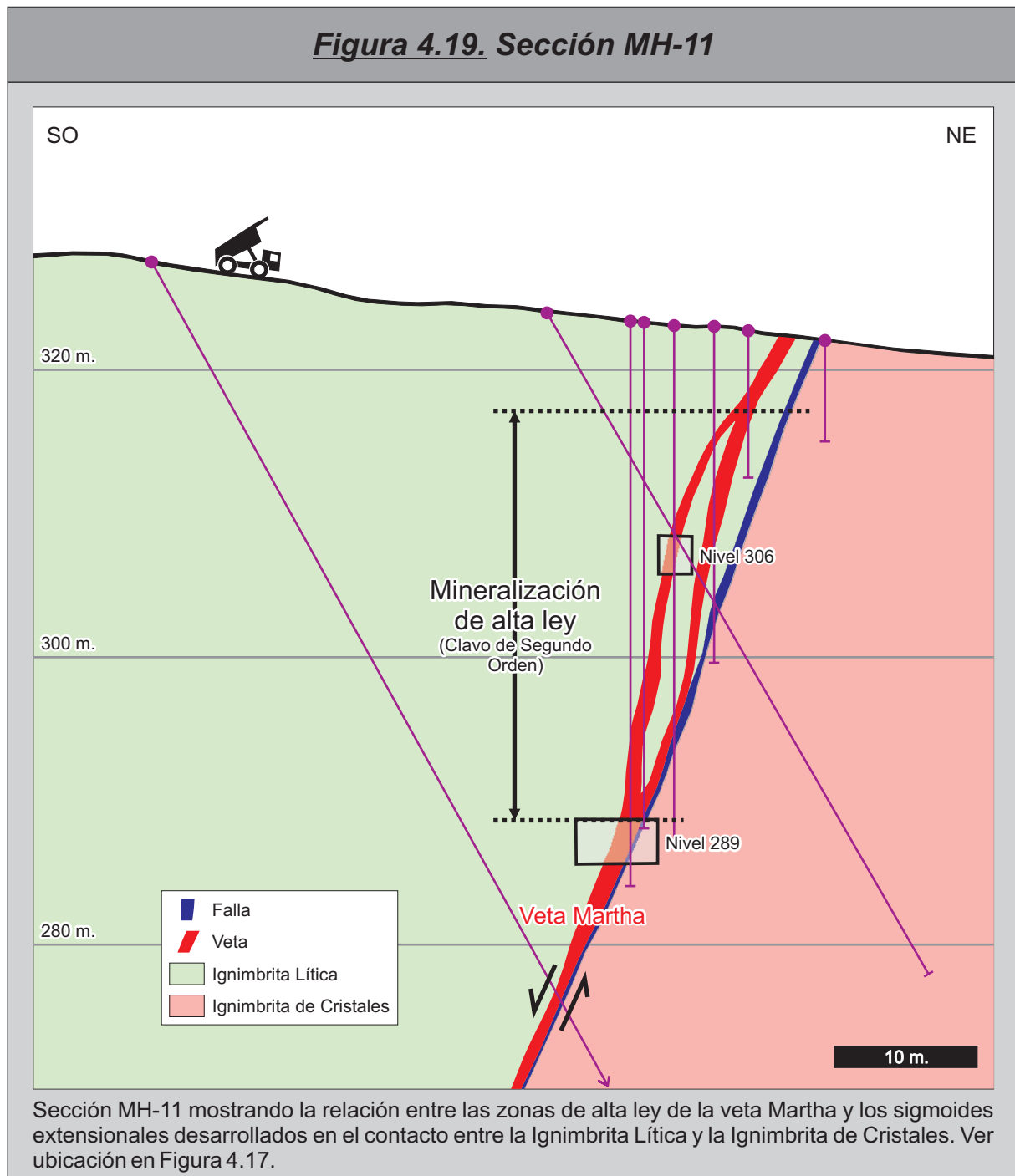


Figura 4.19. Sección MH-11

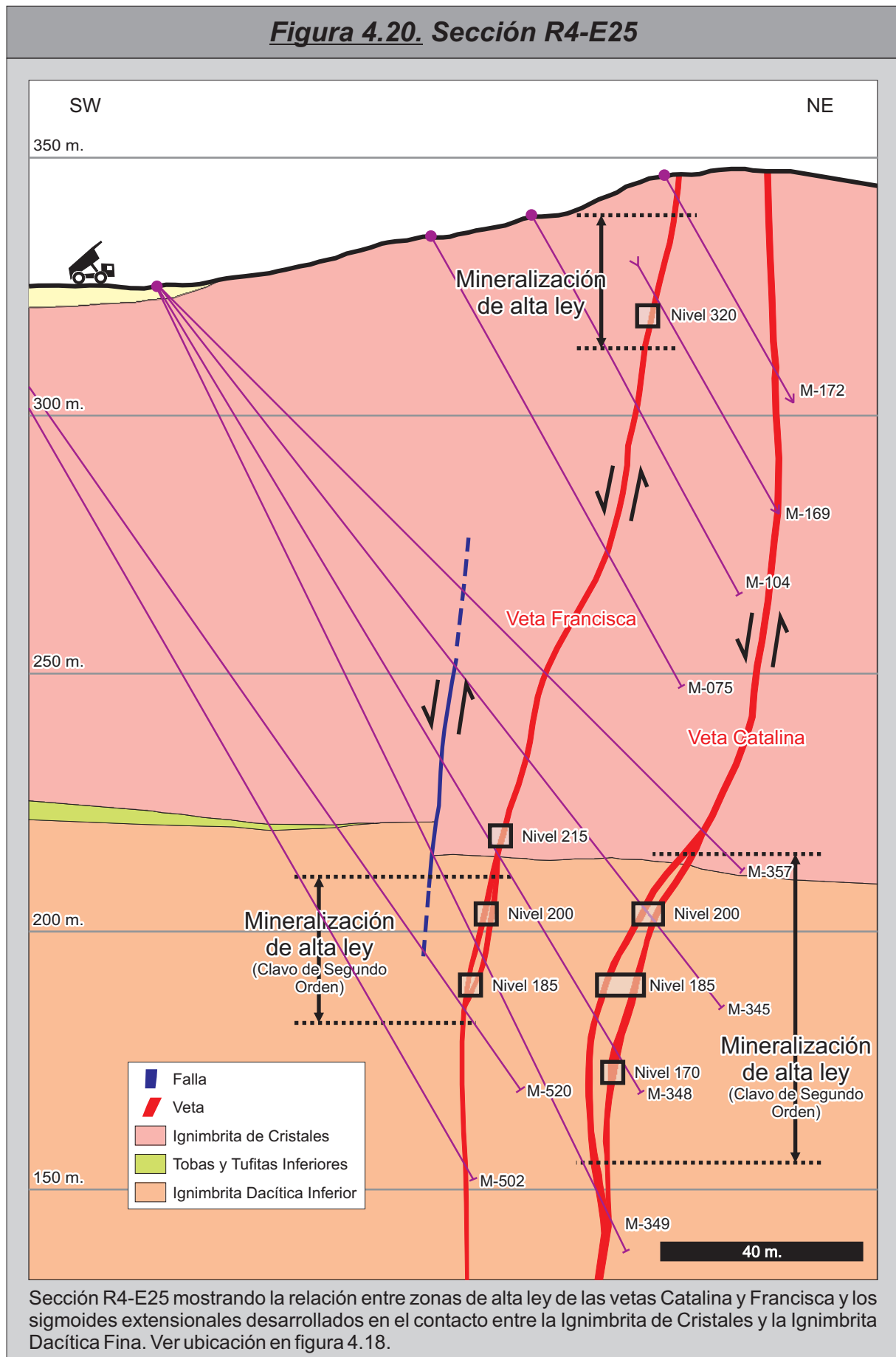


perpendicular al vector de desplazamiento determinado para las vetas, y por lo tanto es compatible con el tipo de cinemática mixta de tipo normal-sinistral observada en ambos sistemas de vetas (Sibson, 1996; Nelson, 2006).

Al observar en detalle la posición de los sigmoides, puede observarse que los mismos se desarrollan en las proximidades de cambios litológicos (Figura 4.19 y Figura 4.20), o bien en sectores con variaciones en el soldamiento de las ignimbritas (Lee, 2005). Esto estaría indicando que las diferencias de competencia entre las diferentes litologías habrían controlado, al menos parcialmente, el desarrollo en la vertical de los sigmoides, y por lo tanto la posición de los clavos de segundo orden dentro del yacimiento (Reid *et al.*, 1975; Davis y Reynolds, 1996; Brathwaite *et al.*, 2001).

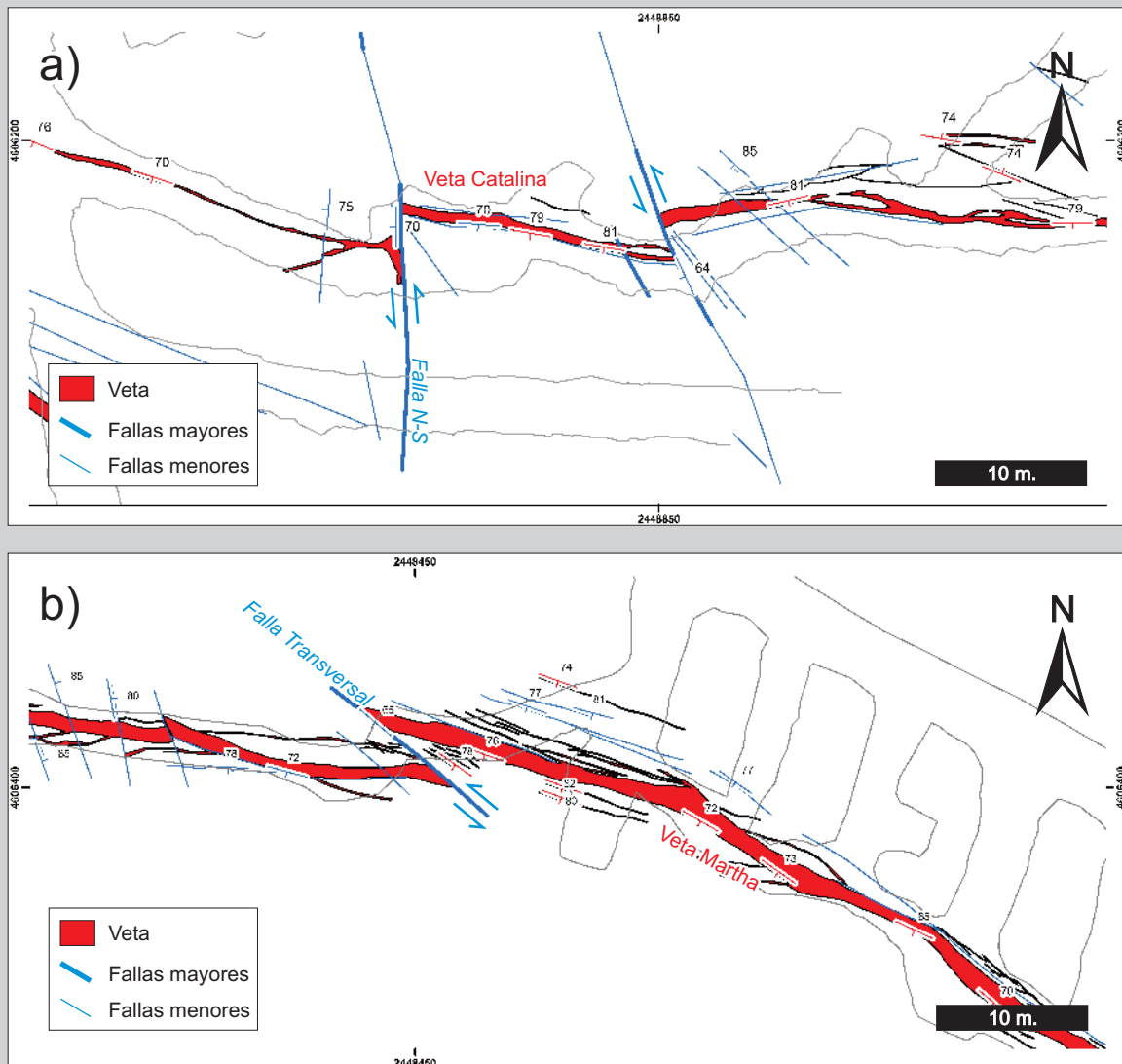
Otro control importante en la distribución de las zonas de alta ley corresponde a la distribución de los pulsos mineralizantes a lo largo de las estructuras. Como puede apreciarse en la Figura 4.6, el episodio de alta ley E2 posee una distribución discontinua, formando tramos aislados dentro de las vetas. Algo

Figura 4.20. Sección R4-E25



similar ocurre con el episodio removilizado E4, que si bien es un poco más continuo, solo desarrolla alta ley en las proximidades del episodio E2. La estrecha correlación que existe entre las altas leyes y la presencia del episodio E2, y entre las altas leyes y la posición de los sigmoides, sugiere que estos últimos

Figura 4.21. Fallas post-mineralización



Detalle del mapeo geológico de interior mina mostrando el comportamiento del fallamiento post-mineralización en (a) Veta Catalina (nivel 240), y (b) Veta Martha (nivel 289).

actuaron como vías preferenciales durante el ascenso y depositación de los fluidos mineralizantes.

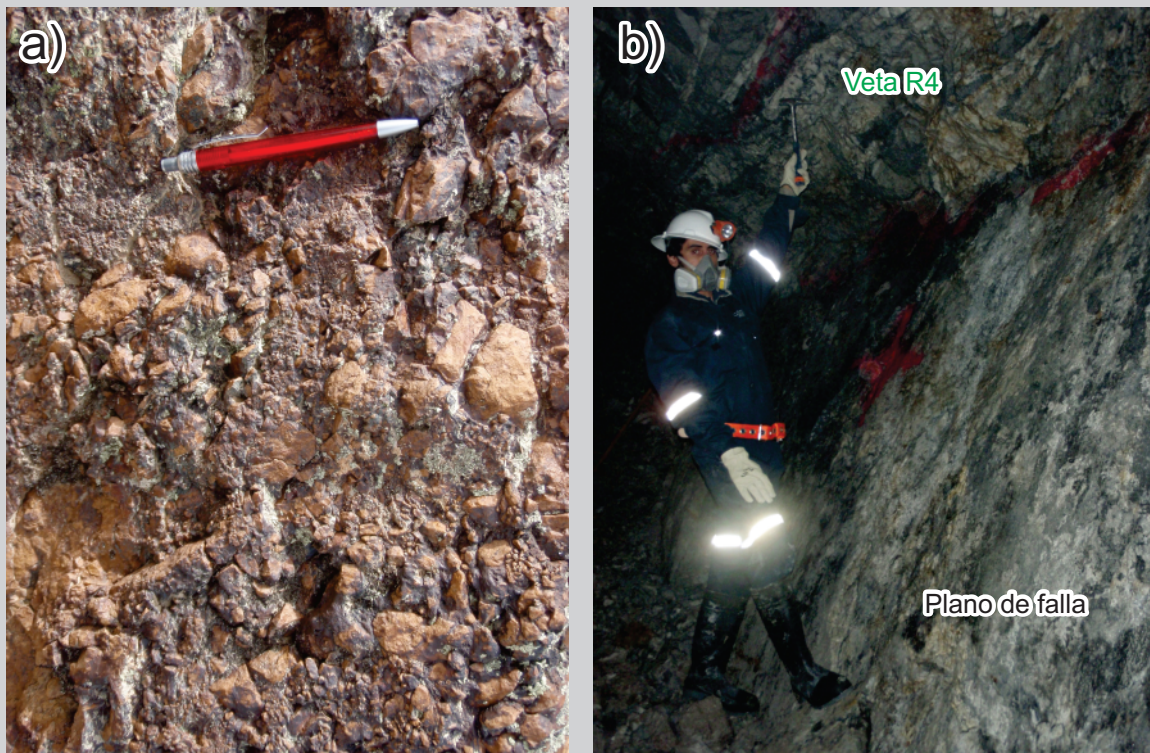
4.5. Controles estructurales post-mineralización

4.5.1. Fallamiento post-mineralización

En superficie las fallas son de difícil observación. Muchas de ellas se corresponden con lineamientos en imágenes y fotos aéreas, y en el campo solo pueden ser corroboradas por desplazamientos en los mantos de rocas piroclásticas, también pueden ser inferidas por escarpas, y muy ocasionalmente por la presencia de brechas tectónicas y/o espejos de fricción. Sin embargo la presencia de galerías y labores de acceso en la mina, facilita en gran medida el reconocimiento y la medición de los distintos juegos de fallas que afectaron a la mineralización con posterioridad a su formación.

El fallamiento post-mineralización en Mina Martha (Figura 4.21) está caracterizado por estructuras que cortan a las vetas y a sus halos de alteración, ya sea con o sin un aparente desplazamiento de los

Figura 4.22. Fallas post-mineralización



Vista de los dos estilos de fallamiento post-mineralización reconocidos en Mina Martha. a) Brecha clasto sostén oxidada; veta Martha Oeste, superficie. b) Zona de falla con relleno arcilloso; veta R4, Nivel 205.

cuerpos mineralizados (Ver Anexo II). Se han podido reconocer dos estilos de fallamiento afectando ambos sistemas de vetas, el primero de ellos caracterizado por brechas clasto sostén y el segundo por un relleno arcilloso a lo largo de planos de fractura (Figura 4.22).

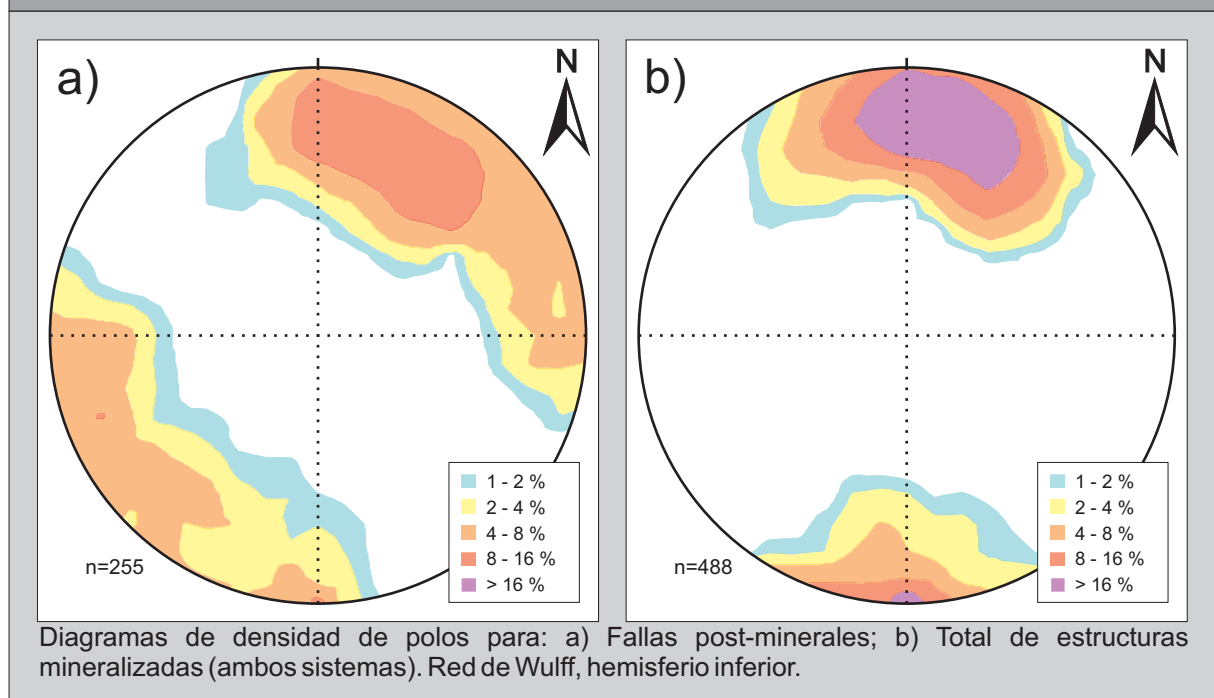
Las primeras corresponden a brechas tectónicas clasto sostén con desarrollo de pequeños espacios vacíos (Figura 4.22a). Se caracterizan por clastos sub-angulosos con una distribución seriada en el tamaño de los mismos, que presentan dimensiones máximas de alrededor de 6 cm. Los clastos no presentan ninguna orientación definida y son de naturaleza heterolitológica, incluyendo fragmentos de roca de caja junto con clastos provenientes de la mineralización, que se presentan teñidos de un color castaño rojizo producto de una pátina de óxidos de hierro.

Este tipo de brechas presentan contactos irregulares y espesores variables de entre 0,3 y 1 m, y fueron observadas únicamente a lo largo de los planos que ocupan las vetas, tanto en interior mina como en superficie, indicando que se originaron a partir de una reactivación de las fallas que contienen las estructuras mineralizadas. No se pudo observar la presencia de estriados o algún otro tipo de indicador cinemático asociado.

El segundo tipo de fracturas se caracteriza por planos y zonas de falla (Figura 4.22b) con contactos netos y abundante relleno arcilloso ocasionalmente acompañado por pirita fina diseminada. Se trata de estructuras con espesores de entre 0,5 cm hasta más de un metro, que se desarrollan tanto en forma paralela como también cortando a las estructuras vetiformes, indicando que corresponden tanto a estructuras nuevas, como a reactivaciones de los planos de falla que contienen a las vetas.

Cuando se comparan las orientaciones de estas fallas (Figura 4.23a) con el total de las estructuras

Figura 4.23. Orientación de fallas post-minerales



mineralizadas (Figura 4.23b), puede observarse que la mayoría de las mismas corresponden a reactivaciones de los planos que contienen a las vetas, tanto del Sistema Martha-R4 como del Sistema del Medio. Sin embargo pueden reconocerse dos direcciones de fallamiento completamente nuevas (Figura 4.21), ambas desarrolladas con frecuencias similares, la primera de ellas con orientación media NNO-SSE a N-S e inclinaciones de alto ángulo hacia el este y en menor medida hacia el oeste. La segunda dirección posee una orientación NO-SE e inclinaciones también con alto ángulo hacia el oeste y en menor medida hacia el este. Las relaciones de corte entre ambos sistemas no son claras y parecen cortarse mutuamente (Ver Anexo II), lo que podría indicar que se formaron simultáneamente.

El primer sistema de estructuras puede ejemplificarse con la llamada “Falla N-S”, que posee una orientación NNO-SSE a N-S e inclinaciones de alto ángulo hacia el oeste, y afecta principalmente al sistema del medio en las proximidades de su intersección con el Sistema Martha-R4 (Figura 4.21b). El segundo sistema, está ejemplificado por la denominada “Falla Transversal” que desplaza a la veta Martha, y que está caracterizada por un rumbo NO-SE e inclinaciones del orden de los 70° hacia el SO (Figura 4.21a). En ambos casos se trata de zonas de falla de hasta 1 m de potencia que desplazan las estructuras mineralizadas con una cinemática mixta de tipo normal-sinistral (Lee, 2005), aunque la observación directa de estriados y otros indicadores cinemáticos es muy difícil.

4.5.2. Controles sobre las leyes de la mineralización

Las fallas post-minerales jugaron un papel importante en la configuración definitiva de los clavos presentes en Mina Martha. El efecto más evidente, fue el de producir desplazamientos en los cuerpos mineralizados, poniendo en contacto sectores de alta ley con sectores de baja ley, aumentando de esa manera la irregularidad de las zonas mineralizadas.

Otro efecto importante del fallamiento post-mineralización, fue el de generar zonas de mayor permeabilidad que permitieron la infiltración de aguas meteóricas hasta niveles profundos del

yacimiento, aumentando localmente la profundidad de la zona de oxidación (Capítulo 3).

El efecto combinado del fallamiento con la posterior oxidación, dio lugar a la destrucción y movilización de la mineralización primaria en las proximidades de las fallas, con la consecuente disminución de la ley en los sectores afectados, especialmente en las partes más altas de los cuerpos mineralizados. Este efecto puede observarse como sectores lineales de baja ley en las secciones longitudinales de las principales vetas, y particularmente en las proximidades de las fallas “Transversal” (Figuras 4.17) y “N-S” (Figuras 4.18).

4.6. Consideraciones finales

La migración de los fluidos dentro de la corteza está fuertemente influenciada por las interconexiones existentes entre las diversas discontinuidades, heterogeneidades tales como fallas, diaclasas, planos de estratificación, foliaciones, etc. (Sibson, 1996; Cox, 2005).

De esta manera, el mapeo detallado de las estructuras mineralizadas, el estudio de su secuencia paragenética y el entendimiento de la geometría y orientación de los elementos estructurales, conforman una herramienta fundamental a la hora de entender la génesis y la evolución de los sistemas hidrotermales, especialmente en lo referente a depósitos de tipo vetiforme (Gemmell *et al.*, 1988; Kreuzer, 2004; Begbie *et al.*, 2007; Kolb y Haegemann, 2009; Wallier, 2009; Micklethwaite, 2009).

Mina Martha se caracteriza por la presencia de dos sistemas principales de estructuras mineralizadas, el Sistema Martha-R4 con orientación media de Rbz 206/67, y el Sistema del Medio con una orientación principal de Rbz 184/80 y una secundaria con Rbz 160/75.

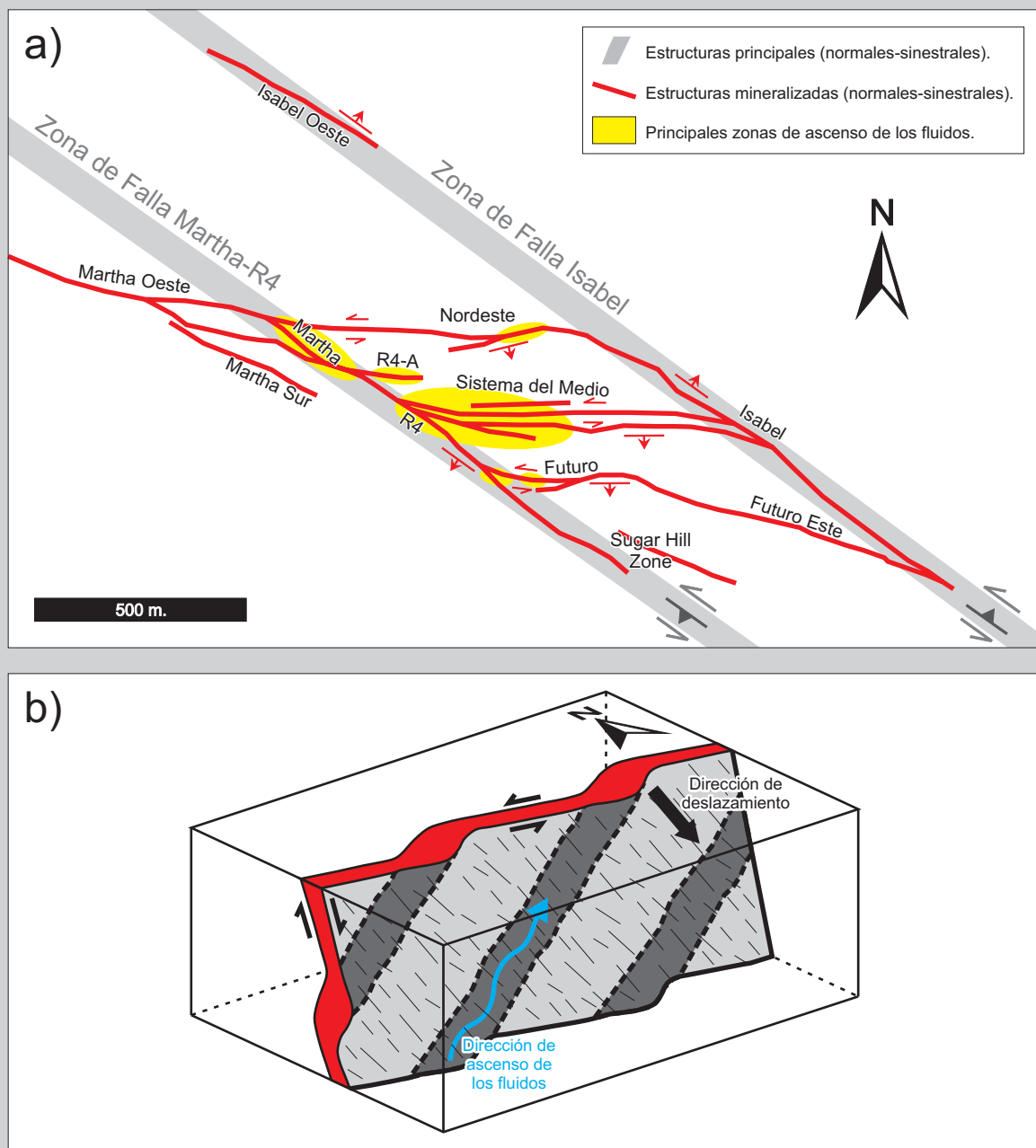
La geometría de los sigmoides y zonas de transferencia junto con la aplicación de métodos geométricos, permitieron determinar una dirección de apertura hacia N174° caracterizada por una inclinación de alto ángulo para ambos sistemas, que fue acompañada con una gran dilatación.

Del arreglo geométrico observado en ambos sistemas de vetas, se deduce que el ambiente tectónico activo al momento del funcionamiento del sistema hidrotermal registrado en Mina Martha corresponde a un régimen transtensivo caracterizado por una cinemática mixta de tipo normal-sinistral (Figura 4.24). Dentro de este esquema, el Sistema del Medio se habría originado como parte de una zona de transferencia “dura” (*hard-linked*) durante la reactivación de dos zonas de falla de orientación NO-SE (Zona de Falla Martha-R4 y Zona de Falla Isabel).

La reactivación de la falla que contiene a la veta Martha y la nucleación de nuevas fracturas en el caso de las vetas del Medio, permitieron el desarrollo de los canales para el ascenso de los fluidos hidrotermales.

La continuidad de los rellenos hidrotermales observados en las vetas, así como también sus relaciones de corte sugieren que todas las estructuras se habrían formado durante un mismo evento hidrotermal. Sin embargo, la distribución de los diferentes pulsos mineralizantes (Figura 4.6) permite interpretar un crecimiento progresivo de las vetas, originado por múltiples episodios de apertura y relleno, en forma similar a lo registrado para otros depósitos epitermales (Gemmell *et al.*, 1988; Simmons *et al.*, 2005; Wallier, 2009). De esta manera, las estructuras mineralizadas se habrían originado como segmentos relativamente aislados durante el episodio E2, que habrían coalescido para formar una estructura continua recién a partir del episodio E3.

Figura 4.24. Modelo estructural



Modelo estructural para Mina Martha. a) Esquema idealizado integrando a las estructuras mineralizadas, sus relaciones mutuas y su vinculación con los sectores de alta ley. b) Modelo idealizado de una estructura, mostrando la relación entre los sigmoides y los canales de ascenso de los fluidos hidrotermales.

La propagación y unión de los segmentos iniciales de las estructuras habrían sido las responsables de la generación de los numerosos sigmoides, codos y zonas de transferencia observados (Figuras 4.7, 4.8 y 4.12). El resultado final de este mecanismo de crecimiento es la geometría curvilinear característica de todas las estructuras vetiformes presentes en el yacimiento. Por último, los elevados espesores registrados para E3 estarían sugiriendo que durante este episodio se produjo el mayor desplazamiento y apertura dentro del sistema de vetas, hipótesis sustentada también por las texturas que caracterizan a los rellenos hidrotermales de este episodio.

Las zonas de alta ley de Mina Martha se dividen en dos grandes cuerpos y varias zonas menores asociadas a intersecciones entre vetas (Figura 4.16). A su vez, dentro de cada estructura mineralizada

pueden observarse clavos de primer orden (Figura 4.17 y Figura 4.18), con superficies mayores a los 15.000 m² e inclinaciones suaves hacia el sudeste, que estarían vinculados a cambios litológicos dentro de la roca de caja de las vetas. Por último, pueden reconocerse clavos de segundo orden (Figura 4.17 y Figura 4.18), que en general no superan los 2500 m² e inclinan hacia el sudoeste, y que corresponden a sigmoides extensionales desarrollados a lo largo de los cambios de rumbo e inclinación de las estructuras.

En los depósitos epitermales la dirección de flujo de las soluciones hidrotermales a través de los cuerpos rocosos se produce hacia el menor gradiente hidráulico siguiendo principalmente zonas de debilidad (Sibson, 1996; Cox, 2005). Sin embargo, la presencia de irregularidades en las zonas de fractura (tales como sigmoides, intersecciones con otras estructuras, etc.) dan lugar a zonas donde el flujo se canaliza y concentra (Sibson, 1996; Rowland y Sibson, 2004; Cox, 2005). Estos conductos de alta permeabilidad serían fundamentales para la formación de depósitos minerales de relevancia económica (Simmons y Browne, 2000; Simmons y Brown, 2006; Micklethwaite, 2009).

En el caso de Mina Martha, al tratarse de un depósito epitermal desarrollado en niveles altos de la corteza, el gradiente hidráulico disminuye en forma aproximadamente vertical hacia la superficie (Sibson, 1996), de manera que el movimiento de los fluidos debería ser esencialmente ascendente. Sin embargo la presencia de intersecciones entre estructuras y sigmoides de apertura (en ambos casos buzantes hacia el OSO), desvían y concentran el flujo de las soluciones en forma ascendente pero en forma paralela al eje de los sigmoides, desde el OSO hacia el ESE siguiendo un rake aproximado de 40°.

De esta manera pueden reconocerse tres escalas diferentes para los controles estructurales que permitieron el desarrollo de la mineralización en Mina Martha (Figura 4.24). A escala regional, los fluidos hidrotermales se concentraron en zonas de transferencia desarrolladas entre zonas de falla de rumbo NO (Figura 4.24a), de manera similar a la descrita por Rowland y Sibson (2004) para el área de Taupo en Nueva Zelanda. A escala del yacimiento, los fluidos hidrotermales aprovecharon zonas de intersección entre estructuras para canalizar y concentrar el pasaje de los fluidos mineralizantes (Figura 4.24a). Por último, a la escala de cada veta, los fluidos hidrotermales aprovecharon zonas de apertura localizada, como los sigmoides, para terminar de canalizar y concentrar el flujo de los fluidos y originar de esa manera los sectores de mayor ley dentro del yacimiento (Figura 4.24b).

Finalmente, la mineralización fue modificada por un evento de fallamiento post-mineral que produce el desplazamiento de los cuerpos mineralizados, y la segmentación de los clavos de alta ley. Dentro de este esquema, y en función de sus atributos texturales, el episodio removilizado E4 probablemente represente el solapamiento entre las últimas etapas del sistema hidrotermal y el comienzo del fallamiento post-mineral.

4.7. Referencias

- BEGBIE, M.J., SPORLI, K.B., MAUK, J.L., 2007. Structural Evolution of the Golden Cross Epithermal Au-Ag Deposit, New Zealand. *Economic Geology* 102: 873-892.
- BRATHWAITE, R.L., CARGILL, H.J., CHRISTIE, A.B., SWAIN, A., 2001. Lithological and spatial controls on the distribution of quartz veins in andesite- and rhyolite-hosted epithermal Au-Ag deposits of the Hauraki Goldfield, New Zealand. *Mineralium Deposita* 36: 1-12.
- COX, S.F., 2005. Coupling between deformation, fluid pressures and fluid flow in ore producing hydrothermal systems at depth in the crust. *Economic Geology* 100th Anniversary Volume: 1-35.

- CUNNINGHAM, W.D., MANN, P., 2008. Tectonics of Strike-Slip Restraining and Releasing Bends. En: CUNNINGHAM, W.D., MANN, P. (eds). Tectonics of Strike-Slip Restraining and Releasing Bends. Geological Society, Special Publication 290: 1–12. London.
- DAVIS, G.H., REYNOLDS, S.J., 1996. Structural geology of rocks and regions. 2° Edición, John Wiley & Sons, Inc.. 776 p. Nueva York.
- DE GIUSTO, J., DI PERSIA A., PEZZI, E., 1980. El Nesocratón del Deseado. Publicado en: II Simposio de Geología Regional Argentina. Tomo 2: 1389-1430. Academia Nacional Ciencias, Córdoba.
- DIETRICH, A., NELSON, E., GUTIERREZ, R., LAYER, P., 2005, Structural control of vein formation and mineralization at the epithermal Huevos Verdes Ag-Au vein system, San Jose District, Deseado Massif, Argentina. Geological Society of America, Annual Meeting Salt Lake City. Abstract N°39-7.
- ECHAVARRÍA, L., 1997. Estudio geológico-minero del área El Dorado-Montserrat, Departamento Magallanes, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- ECHEVESTE, H., 2005. Metalogénesis del Distrito argento-aurífero Manantial Espejo, Macizo del Deseado. Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- GEMMELL, J.B., SIMMONS, S.F., ZANTOP, H., 1988. The Santo Nino silver-lead-zinc vein, Fresnillo District, Zacatecas, Mexico; Part I, Structure, vein stratigraphy, and mineralogy. Economic Geology 83: 1597-1618.
- GIACOSA, R., ZUBIA, M., MARTÍNEZ, H. FUENTES, J., SÁNCHEZ, M., 2008. Evolución estructural meso-cenozoica del sector oriental de la Comarca del Deseado, (68° 00' y 69° 30'O, 47°00'S y 48°30'S Santa Cruz, Argentina). Actas del XVII Congreso Geológico Argentino, Jujuy, Tomo 2: 837-838.
- GIACOSA, R., ZUBIA, M., SANCHES, M., FUENTES, J. MARTINEZ, H., 2008b. Sistemas Auroargentíferos del Sector Oriental de la Región del Deseado: Estructura e inserción en la evolución tectónica Mesozoica (Santa Cruz, Argentina). Actas del XVII Congreso Geológico Argentino, Jujuy, Tomo 2: 841-842.
- GONZALEZ GUILLOT, M., DE BARRIO, R., GANEM, F., 2004. Mina Martha, un Yacimiento Epitermal Argentífero en el Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 119-204. Río Cuarto.
- GUIDO, D., 2002. Geología y Metalogénesis del sector oriental del macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- GUTIERREZ, R., 2006. Geology of the Huevos Verdes silver-gold vein system, San José District, Deseado Massif, Patagonia, Argentina. Tesis de Maestría del Colorado School of Mines, Golden, Colorado. 166 p Inédito.
- HOLCOMBE, R.J., 2009. Georient v9.4.4, Stereographic projections and rose diagram software. Dept. of Earth Sciences, University of Queensland, Australia. <http://www.holcombe.net.au/software/>
- HOMOVC, J., CONSTANTINI, L., FERREIRA, R., PELLON DE MIRANDA, A., 1996. Evolution of the Deseado Massif in Argentina, and its relationship with the San Julián Offshore Area in the South Atlantic Ocean. Informe YPF SA Argentina - Petrobras International Brazil.
- JOVIC, S.M., 2009. Geología y metalogénesis de las mineralizaciones polimetálicas del área El Tranquilo (Cerro León), sector central del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.
- KOLB, J., HAGEMANN, S., 2009. Structural control of low-sulfidation epithermal gold mineralization in the Rosario–Bunawan district, East Mindanao Ridge, Philippines. Mineralium Deposita 44 (7): 795-815.
- KREUZER O.P., 2004. How to resolve the controls on mesothermal vein systems in a goldfield characterized by sparse kinematic information and fault reactivation: a structural and graphical approach. Journal of Structural Geology 26 (6-7): 1043-1065.
- LEE, C., 2005. Structural setting of Ag-Au mineralization in the Martha Deposit District and surrounding areas, Santa Cruz, Argentina. Reporte interno de Coeur d'Alene Mines. Preparado por SRK Consulting. 58 pp.
- LOPEZ, R.G., 2006. Estudio Geológico-Metalogenético del área oriental al curso medio del Río Pinturas, sector noroeste del Macizo del Deseado, provincia de Santa Cruz,

Argentina. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.

- McCOSS, A.M., 1986. Simple constructions for deformation in transpression/ transtension zones. *Journal of Structural Geology* 8(6): 715-718.

- MICKLETHWAITE, S., 2009. Mechanisms of faulting and permeability enhancement during epithermal mineralisation: Cracow goldfield, Australia. *Journal of Structural Geology* 31: 288–300.

- MOREIRA, P., 2005. Geología y Metalogénesis del Distrito La Josefina, Macizo del Deseado, Provincia de Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.

- MOREIRA, P., FERNANDEZ, R., CABANA, C., SCHALAMUK, I. B., 2008. Análisis estructural de las mineralizaciones Jurásicas del proyecto epitermal La Josefina (Au-Ag), Macizo del Deseado, Santa Cruz. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63 (2): 244 – 253.

- MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., FERNANDEZ R., HARTMANN, L., SANTOS, J. SCHALAMUK, I., 2009. Depositional age of Jurassic epithermal gold-silver ore in the Deseado Massif, Patagonia, Argentina, based on Manantial Espejo and La Josefina prospects. *N. Jb. Geol. Paläont., abh.*, 253:25-40, Stuttgart.

- MYKIETIUK, K., 2006. Volcanismo y alteración hidrotermal en el prospecto de metales preciosos del área de la estancia La Esperanza, Macizo del Deseado, Santa Cruz. Tesis Doctoral Facultad de Ciencias Naturales y Museo. Universidad Nacional de La Plata. Inédito.

- NELSON, E.P., 2006. Drill-hole design for dilational ore shoot targets in fault-fill veins. *Economic Geology* 101: 1079–1085.

- NORTJE G., ROWLAND J., SPÖRLI K., BLENKINSOP T., RABONE S., 2006. Vein deflections and thickness variations of epithermal quartz veins as indicators of fracture coalescence. *Journal of Structural Geology* 28:1396–1405

- PAEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M. y SCHALAMUK, I.B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.

- PANKHURST, R., LEAT, P., SRUOGA, P., RAPELA, C.,

MARQUEZ, M., STOREY, B., RILEY, T., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.

- PEÑALVA, G., JOVIC, S., CHERNICOFF, C., GUIDO, D., SCHALAMUK, I., 2008. Cuerpos intrusivos asociados a las mineralizaciones polimetálicas del depósito Cerro León, área del anticlinal El Tranquilo, Santa Cruz: Evidencias Geofísicas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63(1): 14-23.

- RAMOS, V., 1996. Evolución tectónica de la Plataforma Continental. En: Ramos y Turic (editores). *Geología y Recursos Naturales de la Plataforma Continental Argentina*. Asociación Geológica Argentina e Instituto del Petróleo: 385-404.

- RAMOS, V., 2002. Evolución Tectónica. En: M. Haller (ed): *Geología y Recursos Naturales de Santa Cruz. Relatorio del XV Congreso Geológico Argentino*. El Calafate, I-23: 235-387.

- REID, R. R., CADDEY, S. W., RANKIN, J. W., 1975. Primary refraction control of ore shoots, with examples from the Coeur d'Alene District, Idaho. *Economic Geology* 70: 1050-1061.

- ROSSELLO, E., 2001. Sistemas tectónicos transcurrentes: una síntesis de sus condiciones mecánicas y aplicaciones geoeconómicas. En: CORTES, J.M., ROSSELLO, E., DALLA SALDA, L. (Eds.). *Avances en Microtectónica. Publicación Especial (Serie D) N°5: 19-43*. Asociación Geológica Argentina, Buenos Aires.

- ROSSELLO, E.A., 2009. Localización de espacios dilatantes en el fallamiento: controles de la mineralización y pronósticos económicos. 9^{no} Congreso de Geología Económica, Actas: 229-234.

- ROWLAND, J.V., SIBSON, R.H., 2004. Structural Controls on hydrothermal flow in a segmented rift system, Taupo Volcanic Zone, New Zealand. *Geofluids* 4: 259-283.

- SCHALAMUK I, DE BARRIO R, ZUBIA M, GENINI A, VALVANO J., 2002. Mineralizaciones auro-argentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico. En: Haller MJ (ed.) *Geología y recursos naturales de Santa Cruz. Relatorio 15° Congreso Geológico Argentino*: 679–713.

- SIBSON, R.H., 1996. Structural permeability of fluid-

driven fault-fracture meshes. *Journal of Structural Geology* 18(8): 1031-1042.

- SIMS, J., 2010. Martha Mine, Santa Cruz, Argentina: Technical Report. Informe técnico según norma NI43-101: 105 p. Disponible en: <http://www.sedar.com>.
- SIMMONS, S.F., BROWNE, P.R.L., 2000. Hydrothermal Minerals and Precious Metals in the Broadlands-Ohaaki Geothermal System: Implications for Understanding Low-Sulfidation Epithermal Environments. *Economic Geology* 95: 971-999.
- SIMMONS, S.F., WHITE, N.C., JOHN, D.A., 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits. In: *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p: 485–522.
- SIMMONS, S.F., BROWN, K.L., 2006. Gold in magmatic hydrothermal solutions and the rapid formation of a giant ore deposit. *Science* 314: 288–291.
- WALLIER, S., 2009. The geology and evolution of the Manantial Espejo epithermal silver (+gold) deposit, Deseado Massif, Argentina. Tesis Doctoral de la University of British Columbia, Vancouver. 303p. Inédito. Disponible en: <http://circle.ubc.ca/handle/2429/17439>.

Capítulo 5:

Conclusiones sobre el origen de la mineralización argentífera de Mina Martha, Macizo del Deseado, Argentina.

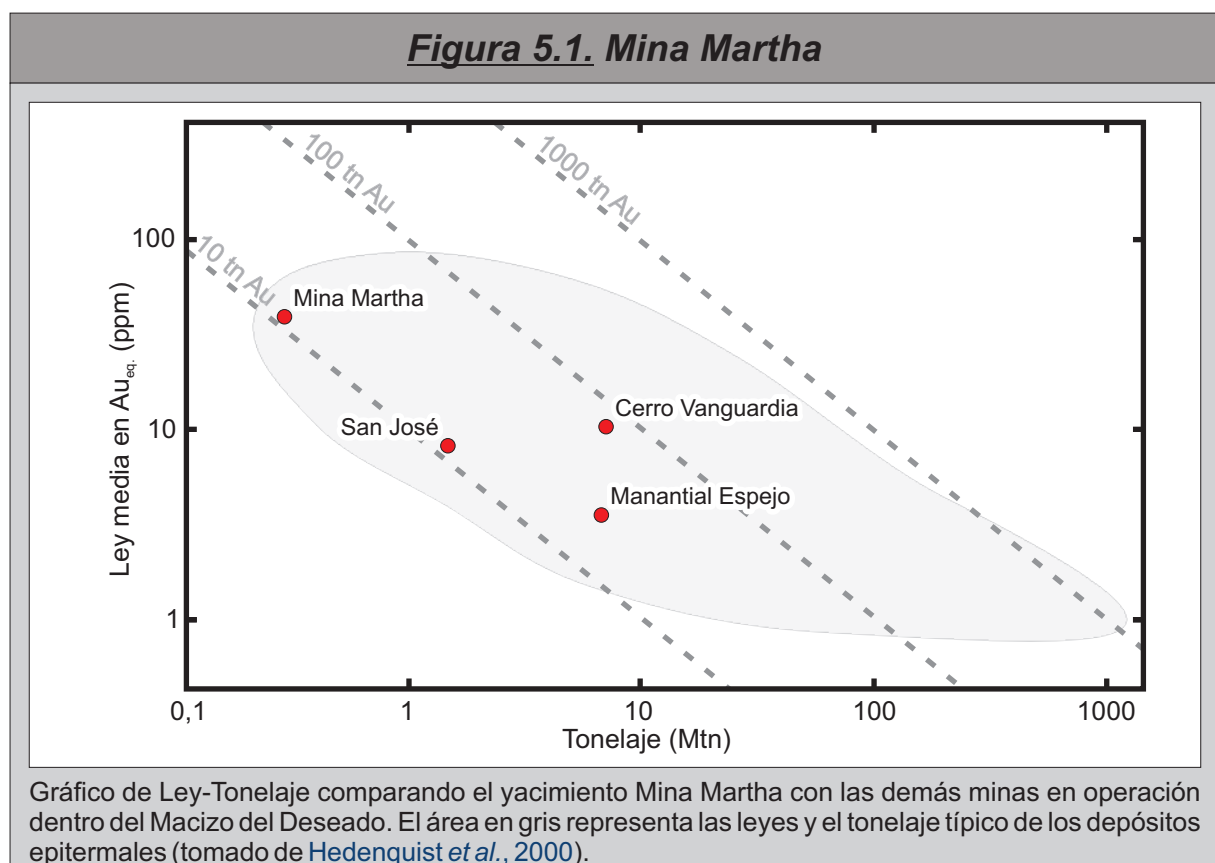
5.1. Introducción

A partir del descubrimiento de oro en el inicio de los 80' en las vetas de cuarzo del área del Cerro Vanguardia, se desarrolló, en el ámbito del Macizo del Deseado, una intensa actividad prospectiva que ha dado como resultado el descubrimiento de varios distritos vetiformes con presencia de metales preciosos (Schalamuk *et al.*, 2002). Actualmente, esta provincia, es una importante productora de Au-Ag con cuatro minas activas (Cerro Vanguardia, Martha, San José y Manantial Espejo) y es objeto de intensa exploración con más de 50 proyectos en distinto grado de desarrollo (e.g., Guido y Schalamuk, 2003; Echavarría *et al.*, 2005; Fernández *et al.*, 2008). Dentro de este marco, el yacimiento argentífero Mina Martha se ubica en el sector sudoccidental de esta provincia metalogenética, a unos 50 km al NE de la localidad santacruceña de Gobernador Gregores.

El yacimiento es propiedad de la empresa Coeur Argentina SRL, subsidiaria de Coeur d'Alene Mines Corporation, y está en explotación desde el año 2001 (Páez *et al.*, 2008). Desde el inicio de las actividades hasta finales de 2010, la mina produjo un total de 273.752 toneladas de mineral con leyes medias de 1.932 g/t Ag y 2,59 g/t Au, lo que equivale a un promedio de 34,8 g/t Au eq. (Páez *et al.*, 2008; Sims, 2010; Krebs y Wheeler, 2011). El bajo tonelaje y las elevadas leyes características de Mina Martha permiten definirlo como un depósito de tipo bonanza dentro del espectro de yacimientos actualmente en producción en el Macizo del Deseado (Figura 5.1).

En el presente capítulo se resumen y agrupan las principales observaciones que resultaron del

Figura 5.1. Mina Martha



presente trabajo de tesis doctoral, con el fin de realizar una caracterización integral del yacimiento que permita entender los principales controles que se combinaron para dar origen a uno de los yacimientos de plata más ricos de Argentina.

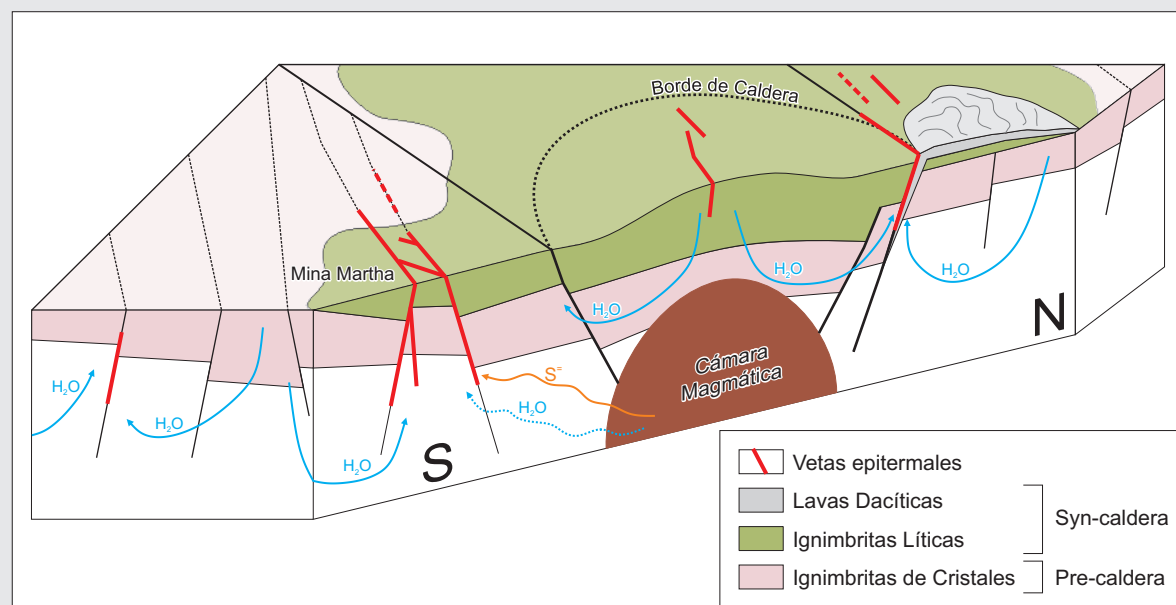
5.2. Características generales del yacimiento

Los principales aspectos que caracterizan al yacimiento Mina Martha son:

- La mineralización forma cuerpos vetiformes de hasta 5 m de espesor y varios cientos de metros de longitud (Figura 3.3), caracterizados por el desarrollo de texturas brechosas, bandeados costriformes, y texturas masivas con tamaños de grano medios a gruesos.
- Las vetas pueden ser divididas en tres sistemas de acuerdo a su orientación general (Figura 3.3): un conjunto de estructuras de orientación NO-SE denominado Sistema Martha-R4; un segundo conjunto paralelo al anterior hacia el norte, denominado Sistema Isabel; y un tercer conjunto de estructuras de orientación general E-O desarrollado entre ambos, y que ha sido denominado Sistema del Medio.
- Las vetas cortan una secuencia piroclástica de más de 500 m de espesor (Figura 2.5), caracterizada por un estilo de vulcanismo de tipo explosivo y naturaleza episódica.
- La signatura geoquímica de las vetas, cuya paragénesis de metales corresponde a Ag-Au-Cu-Pb-Zn-Sb-As, y su relación Ag/Au de alrededor de 900:1, permiten definir al yacimiento como un depósito netamente argentífero, con oro y metales base asociados (Figura 3.5).
- La mena está compuesta por una mineralogía compleja de sulfuros de metales base y sulfosales de plata y cobre, que se presentan en cantidades variables, pero que pueden superar el 20 % en volumen (Figura 3.8). Mientras que la mineralogía de la ganga es relativamente sencilla, está compuesta por adularia, cuarzo, sericita (illita), y que localmente puede presentar cantidades subordinadas de clorita (Figura 3.8).
- Los cuerpos mineralizados están rodeados por un halo de alteración restringido, compuesto principalmente por la asociación adularia, cuarzo, sericita (illita), esmectita y cantidades menores de clorita (Figura 3.30).
- La mineralogía de la ganga y las alteraciones, junto con los estudios de inclusiones fluidas, indican que la mineralización se habría originado a partir de soluciones cloruradas neutras a levemente alcalinas, con temperaturas de entre 215,5 y 316,5 °C, y salinidades de entre 0,53 y 3,55 % NaCl eq. (Figura 3.23).
- El sistema geotermal que le dio origen a la mineralización estuvo activo durante el Jurásico Superior (156,5 ± 0,9 Ma, Oxfordiano).

5.3. Conclusiones sobre la evolución del magmatismo

Ruiz *et al.* (2008a y 2011) interpretan al distrito Cerro Primero de Abril como un importante centro volcánico Jurásico caracterizado por un aparato volcánico de colapso de tipo caldera. Dentro de este esquema, el área de Mina Martha se encuentra ubicada en el sector centro sur de este distrito, en las proximidades del borde sur de la fractura anular de la caldera (Figuras 2.3a y 3.2a).

Figura 5.2. Modelo geológico propuesto

Modelo geológico para el Distrito Primero de Abril mostrando la estructura de colapso tipo caldera y su relación con las mineralizaciones presentes en el área al momento del funcionamiento de las celdas hidrotermales. Basado en las observaciones de Ruiz *et al.* (2008a y b) y en los resultados del presente trabajo de tesis doctoral (Fuera de escala).

Todas las unidades volcánicas analizadas en el área de Mina Martha corresponden a rocas subalcalinas pertenecientes a la serie calcoalcalina, con alto potasio y naturaleza peraluminosa (Figura 2.18), características distintivas del volcanismo Jurásico del Grupo Bahía Laura (Pankhurst *et al.*, 1998).

El inicio del magmatismo del área de Mina Martha estuvo caracterizado por flujos ignimbríticos pertenecientes a las ignimbritas cristaloclásticas (Ignimbrita Dacítica Fina y de Cristales). Este vulcanismo inicial fue de naturaleza episódica, ya que luego de cada erupción le seguía una pausa que permitió la instalación de sistemas fluviales y lacustres con ecosistemas asociados (depósitos de Tobas y Tufitas). El vulcanismo pre-caldera ocurrió en el Jurásico Superior, más específicamente en el piso Oxfordiano, alrededor de los $157,6 \pm 1,0$ Ma (Figura 2.19).

En función de las características analizadas en el Capítulo 3, las Ignimbritas Lítica y "Dacítica" se pueden agrupar como pertenecientes a un mismo evento volcánico (el conjunto de las ignimbritas litoclásticas de Ruiz *et al.*, 2008a). El extraordinario volumen de estas unidades y la complejidad de los procesos que llevaron a su formación, evidencian su vinculación con un aparato volcánico de colapso tipo caldera, tal y como fuese planteado por Ruiz *et al.* (2008a y 2011). Estas ignimbritas se habrían originado por la mezcla de dos magmas, uno intermedio y otro ácido, pertenecientes a las Formaciones Bajo Pobre y Chon Aike, mezcla que habría gatillado la erupción y la formación de la caldera. La edad del colapso de la caldera se ubica también en el Jurásico Superior, alrededor de los $156,9 \pm 0,7$ Ma, de acuerdo a las dataciones presentadas por Ruiz *et al.* (2011).

Luego de la erupción que originó a las ignimbritas litoclásticas, se vuelve al magmatismo "normal" para el distrito, es decir el desarrollo de otra ignimbrita perteneciente al conjunto de ignimbritas cristaloclásticas (Ignimbrita Morada), pero más evolucionadas. El evento post-caldera finaliza con la intrusión de un conjunto de diques y domos riolíticos que fueron datados alrededor de los $156,3 \pm 0,7$ Ma por Ruiz *et al.* (2011).

La cercana relación observada por Ruiz *et al.* (2008a y b) entre la caldera y los numerosos afloramientos de hot-spring observados en la región (Figura 2.3b), sumada a la similitud entre las edades de la caldera ($156,9 \pm 0,7$ Ma) y la mineralización ($156,5 \pm 0,9$ Ma), permiten interpretar que el motor térmico para los sistemas hidrotermales presentes en la región (incluyendo Mina Martha) habría sido la cámara magmática responsable del colapso de la caldera (Figura 5.2). En función de los resultados de los isótopos estables (Capítulo 3), este cuerpo ígneo habría aportado el azufre, parte de los metales y parte de las aguas que dieron origen a la mineralización argentífera de Mina Martha.

5.4. Conclusiones sobre la evolución del sistema y los fluidos hidrotermales

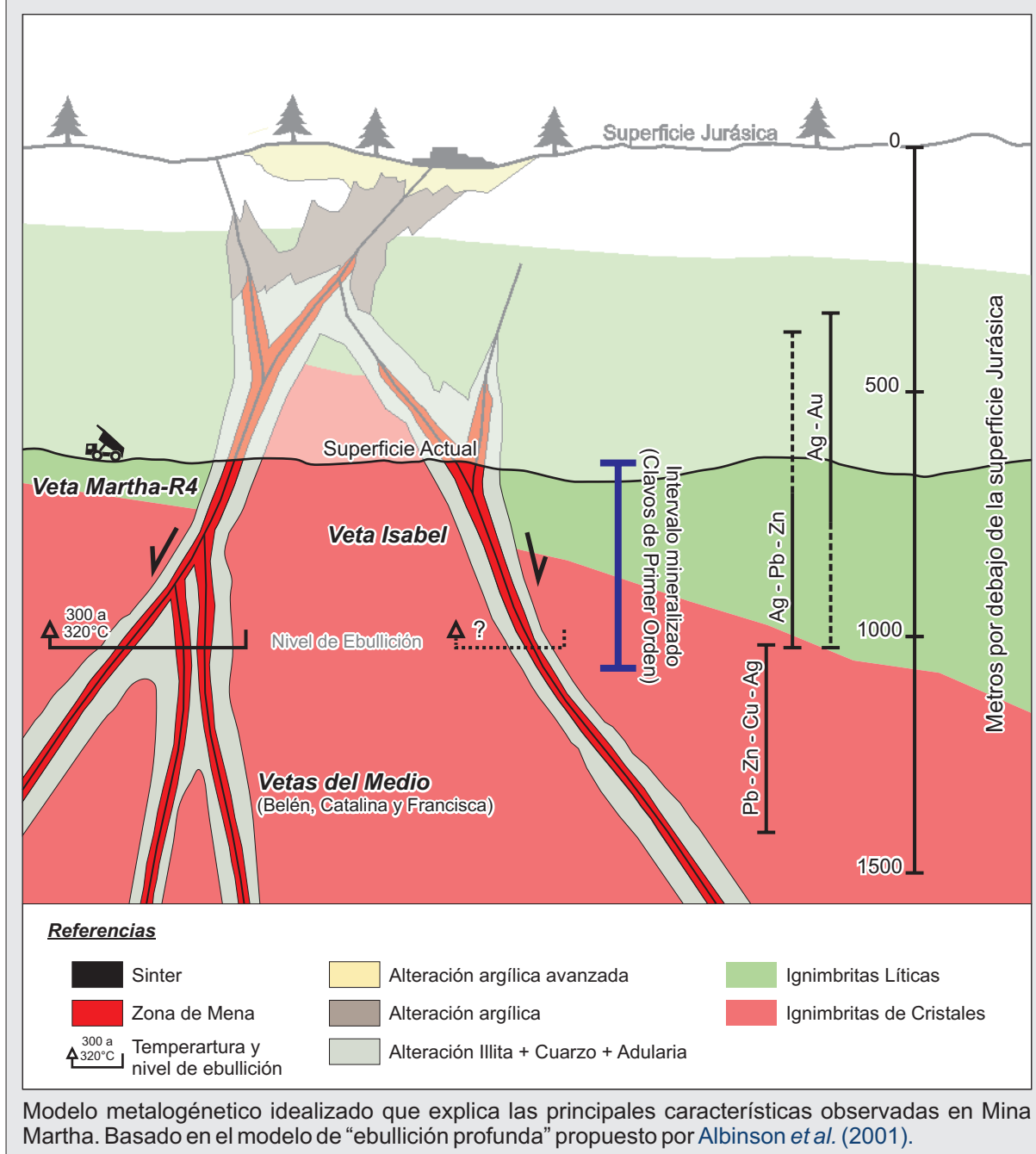
En función de la mineralogía y las texturas observadas, el esquema paragenético definido para el yacimiento (Capítulo 3) puede ser subdividido en tres grandes etapas que marcaron la evolución del depósito epitermal presente en Mina Martha, una etapa hidrotermal (episodios E1 a E3), una etapa tectónica (episodio E4), y una tercera etapa supergénica postmineral.

La evolución hidrotermal del yacimiento está dominada por una compleja asociación de sulfuros y sulfosales, a los que se asocian cantidades variables de plata nativa (Capítulo 3). El esquema paragenético de esta etapa se caracteriza por importantes variaciones en las proporciones relativas entre sulfuros y sulfosales (Capítulo 3). En líneas generales puede observarse una disminución progresiva en el contenido de sulfuros de metales base (Figura 3.29), que son reemplazados dentro de la paragénesis por una cantidad cada vez mayor de sulfosales de plata y cobre. Estos cambios en la mineralogía de la mena, son acompañados por un progresivo aumento en la participación del cuarzo y la adularia, que pasan de estar prácticamente ausentes al inicio, hasta hacerse dominantes hacia el final del evento hidrotermal (Figura 3.29).

La mineralización se habría originado a partir del ascenso de soluciones cloruradas reducidas, con pH neutro a levemente alcalino (Capítulo 3), caracterizadas por salinidades que oscilan entre 0,53 y 3,55 % NaCl eq. (Figura 3.24c), y temperaturas que evolucionaron siguiendo un patrón general de enfriamiento progresivo dentro del rango de 315 a 215°C (Figura 3.24b). Los análisis de isótopos estables indican una importante componente de origen meteórico en los fluidos, aunque se puede reconocer también un pequeño aporte de aguas magmáticas, especialmente en las primeras etapas de la evolución del sistema hidrotermal (Figura 5.2).

En Mina Martha (Figura 5.3), la presencia de abundante adularia en la ganga de casi todos los episodios hidrotermales estaría evidenciando un proceso sostenido de ebullición a lo largo de casi toda la evolución del sistema hidrotermal (Capítulo 3). Este proceso sería el responsable de la depositación de los metales y habría ocurrido a una profundidad mínima de alrededor de 800 m por debajo del paleo-nivel freático (Figura 5.3); adicionalmente, la presencia de variaciones en los hábitos de adularia, indican además la presencia de modificaciones en las condiciones de permeabilidad bajo las cuales ocurrió este proceso.

Por último, y en función de las observaciones realizadas en el Capítulo 3, se puede clasificar al yacimiento Mina Martha como un depósito epitermal de sulfuración intermedia (Hedenquist *et al.*, 2000; Einaudi *et al.*, 2003; Simmons *et al.*, 2005), perteneciente al subtipo de “ebullición profunda” (Albinson *et al.*, 2001; Figura 5.3).

Figura 5.3. Modelo metalogénético propuesto

De esta manera, el desarrollo de un nivel de ebullición estable a lo largo de toda la vida del sistema hidrotermal, la profundidad a la que se desarrolló ese nivel (Capítulo 3), un conjunto de sucesivas variaciones en la permeabilidad producto de la dinámica de las fracturas que actuaron como canales para los fluidos (Capítulo 3 y 4), y la disponibilidad de metales en las soluciones, fueron los cuatro factores que se conjugaron para dar lugar a la formación de los sectores hidrotermales del yacimiento. Finalmente, los estudios de $^{39}\text{Ar}/^{40}\text{Ar}$ permiten acotar el funcionamiento de este sistema al Oxfordiano ($156,5 \pm 0,9$ Ma).

Luego del evento hidrotermal la mineralización sufrió los efectos de un evento de deformación de tipo frágil vinculado a la reactivación tectónica de la zona de falla que contiene al sistema de vetas Martha-R4 (Episodio E4). El resultado de este evento fue el desarrollo de cuerpos irregulares de brechas de falla y cataclasitas foliadas que produjeron la removilización mecánica y química de los sulfuros y sulfosales formados anteriormente (Capítulo 3), contribuyendo de manera significativa en la formación de cuerpos

de alta ley dentro del sistema Martha-R4.

Esta etapa fue acompañada por una limitada circulación de fluidos, que ocurrió en forma concomitante con la deformación frágil (Capítulo 3). Los estudios de inclusiones fluidas muestran que estas soluciones fueron más concentradas que en la etapa hidrotermal (Figura 3.24c), alcanzando salinidades que rondan entre 7,73 y 9,98 % NaCl eq., y con temperaturas menores, que se encuentran entre los 139 y 168°C (Figura 3.24b). La falta de determinaciones de isótopos estables, sumada a la falta de una asociación de alteración propia de este episodio, impide la estimación de parámetros químicos adicionales para estas soluciones.

La edad del evento tectónico es bastante difícil de estimar dada la falta de fases minerales datables en los pulsos que lo constituyen. Sin embargo, el hecho que estas brechas sean previas al principal evento de fracturación post-mineral que disloca los cuerpos mineralizados (Capítulo 4), permite especular sobre una posible edad Jurásica Superior a Cretácica Inferior (post-Oxfordiana y pre-Aptiana; [Giacosa et al., 2010](#)) para este evento tectónico removilizante.

Finalmente, las partes más superficiales del yacimiento están dominadas por el desarrollo de una zona de oxidación de alrededor de 20 m de potencia que es seguida en profundidad por una pequeña zona de enriquecimiento supergénico de alrededor de 20 m de potencia (Figura 3.20a). Si bien el nivel de enriquecimiento tiene un desarrollo restringido dentro del yacimiento, los procesos supergénicos constituyeron un factor económicamente importante al incrementar las leyes de plata en las partes más someras del yacimiento (Capítulo 3).

Esta etapa fue el resultado del descenso de aguas meteóricas frías (menos de 40°C), de naturaleza ácida y oxidante ([Hedenquist et al., 2000](#); [Simmons et al., 2005](#)), que produjeron la destrucción de la mineralización en superficie y dieron origen a una zona de alteración rica en caolinita, plumbogummita y jarosita que se presenta sobreimpuesta al conjunto de alteraciones hipogénicas (Capítulo 3).

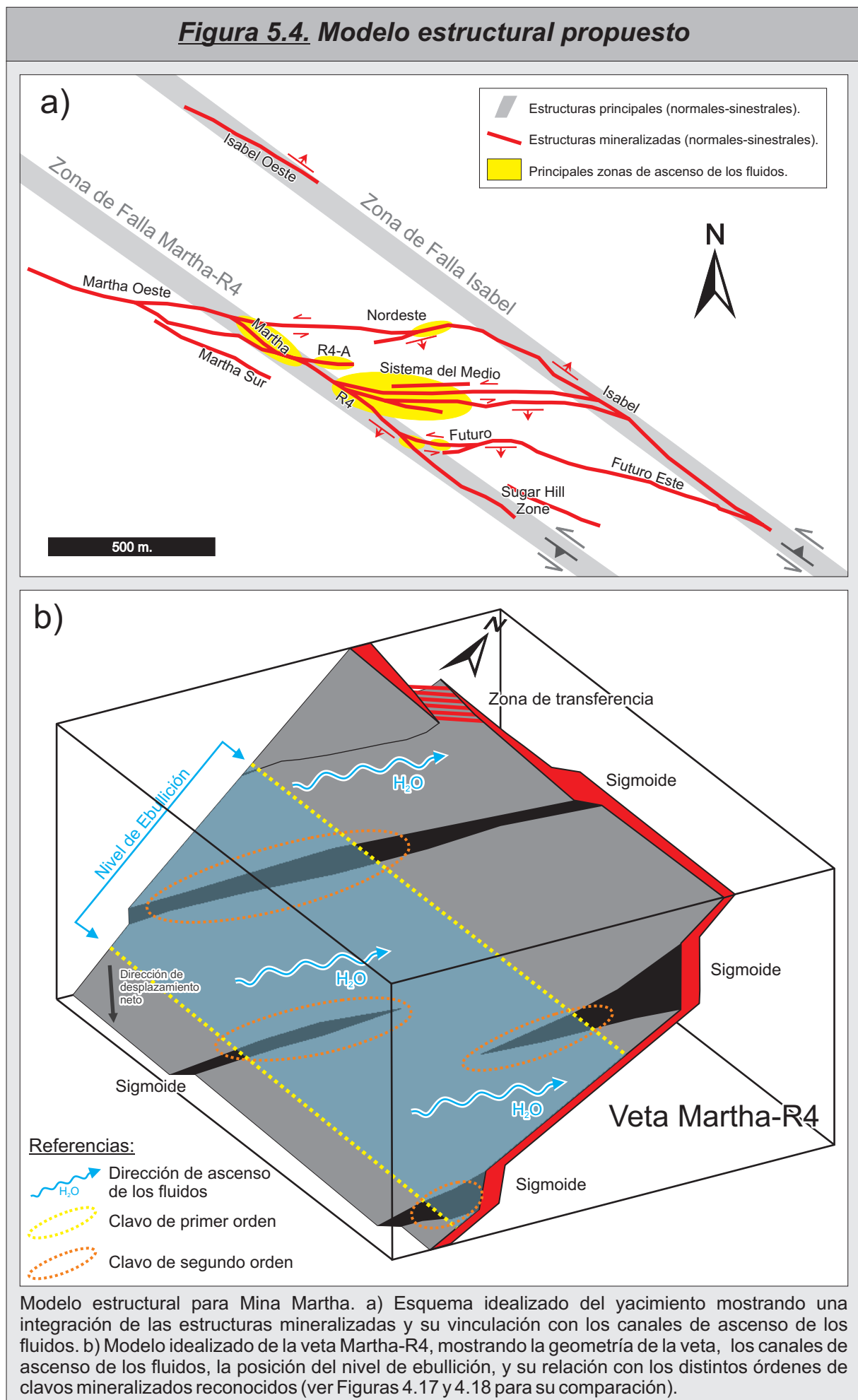
Con la etapa supergénica finalizan las modificaciones post-minerales registradas en Mina Martha; y si bien la edad de esta etapa es difícil de estimar, la cercana correlación existente entre la topografía actual y la geometría de la zona de oxidación permiten interpretar una edad Cuaternaria para este evento.

5.5. Conclusiones sobre los controles estructurales en la mineralización

El ambiente tectónico activo al momento del funcionamiento del sistema hidrotermal registrado en Mina Martha corresponde a un régimen transtensivo caracterizado por una cinemática mixta de tipo normal-sinistral (Capítulo 4). Dentro de este esquema, el Sistema del Medio se habría originado como parte de una zona de transferencia “dura” (*hard-linked*) durante la reactivación de dos zonas de falla de orientación NO-SE (Zona de Falla Martha-R4 y Zona de Falla Isabel, ver Figura 5.4a).

La estructuración de la región jugó un papel fundamental en la consolidación de los clavos mineralizados presentes en el yacimiento, controlando la ubicación de las zonas de ascenso de las soluciones hidrotermales (Capítulo 4). De esta manera, los fluidos hidrotermales se concentraron en zonas de transferencia desarrolladas entre fallas de rumbo NO (Sistemas Martha-R4 e Isabel), y dentro de estas zonas aprovecharon las intersecciones entre las diferentes estructuras para canalizar y concentrar el pasaje de los fluidos mineralizantes (Figura 5.4a).

La estructura (Capítulo 4) y las características fisicoquímicas del sistema hidrotermal (Capítulo 3) se

Figura 5.4. Modelo estructural propuesto

combinaron para determinar la geometría final de los clavos mineralizados del yacimiento. De esta manera, el desarrollo de una zona o nivel de ebullición de entre 100 y 150 m de espesor condicionó la formación de los clavos de primer orden (Figura 5.4b). Dentro de este nivel, los fluidos ascendentes aprovecharon zonas de apertura localizada, como los sigmoides, para canalizar y concentrar aún más las soluciones (Figura 5.4b), y dar origen de esa manera a los sectores de mayor ley dentro del yacimiento (clavos de segundo orden). Por último, los eventos post-mineralización de fallamiento produjeron el desplazamiento y la segmentación de los cuerpos mineralizados, dándole el aspecto actual.

5.6. Consideraciones finales

Mina Martha representa un yacimiento de tipo bonanza dentro del espectro de yacimientos epitermales actualmente en explotación en el Macizo del Deseado, y sus características únicas permiten separarlo del resto de los yacimientos que caracterizan a la región.

Desde el punto de vista volcánico, el desarrollo de una caldera de 12 km de diámetro, y su cámara magmática asociada, constituyeron un factor metalogenético fundamental para el desarrollo de la mineralización. Este aparato volcánico no solo aportó la temperatura para poner en funcionamiento las celdas hidrotermales, sino que también contribuyó con el aporte de metales, azufre y parte del agua necesaria para la formación de la mineralización.

Desde el punto de vista estructural, la tectónica extensional activa al momento de la formación de las vetas aportó los canales necesarios para la circulación y el ascenso de las soluciones hidrotermales. La geometría y cinemática de las fallas que canalizaron el ascenso de estos fluidos, llevaron a una efectiva focalización y concentración de las soluciones hidrotermales que favoreció la formación de clavos mineralizados de muy alta ley.

Por último, el desarrollo de un nivel de ebullición profundo y estable a lo largo del tiempo, fue el factor metalogenético principal a la hora de controlar la depositación de la paragénesis argentífera característica del depósito. Finalmente, los procesos posteriores de removilización tectónica y supergénica terminaron de darle forma a los clavos mineralizados de mayor ley dentro del yacimiento.

De esta manera, los elevados contenidos de plata reconocidos en Mina Martha son el resultado de una combinación única de factores volcanológicos, estructurales y metalogenéticos que se conjugaron para dar lugar a la formación del primer depósito epitermal de sulfuración intermedia registrado en el Macizo del Deseado.

5.7. Referencias

- ALBINSON, T., NORMAN, D.I., COLE, D., CHOMIAK, B., 2001, Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico: Constraints from fluid inclusion and stable isotope data. Society of Economic Geologists Special Publication 8: 1–32.
- ECHAVARRÍA, L.E., SCHALAMUK, I.B.A., ETCHEVERRY, R.O., 2005. Geologic and tectonic setting of

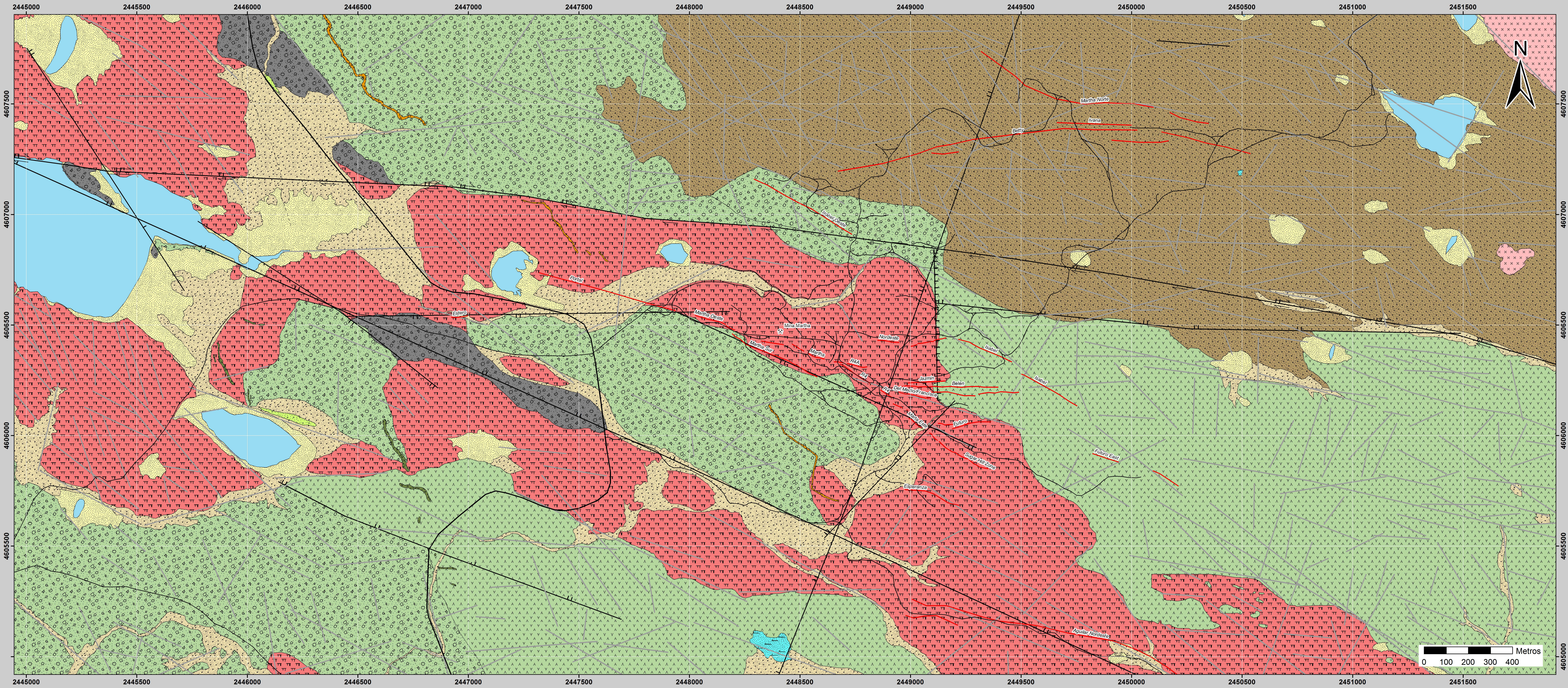
Deseado Massif epithermal deposits, Argentina, based on El Dorado-Monserrat. Journal of South American Earth Sciences 19: 415-432.

- EINAUDI, M.T., HEDENQUIST, J.W., INAN, E.E., 2003. Sulfidation State of Fluids in Active and Extinct Hydrothermal Systems: Transitions from Porphyry to Epithermal Environments. Special Publication N°10: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids. Society of Economic Geologists, pp 285-313.

- FERNÁNDEZ, R.R., BLESÁ, A., MOREIRA, P., ECHEVESTE, H., MYKIETIUK, K., ANDRADA DE PALOMERA, P., TESSONE M., 2008. Los depósitos de oro y plata vinculados al magmatismo jurásico de la Patagonia: revisión y perspectivas para la exploración. *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, 63 (4): 665-681.
- GIACOSA, R., ZUBIA, M., SÁNCHEZ, M., ALLARD, J., 2010. Meso-Cenozoic tectonics of the southern Patagonian foreland: Structural evolution and implications for Au–Ag veins in the eastern Deseado Region (Santa Cruz, Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 30, 134-150.
- GUIDO, D., SCHALAMUK, I., 2003. Genesis and exploration potential of epithermal deposits from the Deseado Massif, Argentinean Patagonia. En: Eliopoulos et al. (editores). *Mineral Exploration and Sustainable Development*. Balkema-Rotterdam, Vol I, 493-496.
- HEDENQUIST, J.W., ARRIBAS, A. R., Y GONZALEZ-URIEN, E., 2000. Exploration for Epithermal Gold Deposits. *Review in Economic Geology* 13: 245-277.
- KREBS, M.J., WHEELER, D.E., 2011. Coeur D'Alene Mines Corporation, Annual Report: Form K-10. 143 p. Available at: <http://www.sedar.com>
- PAEZ, G.N., RUIZ, R., GUIDO, D.M. y SCHALAMUK., I.B., 2008. Historia del Yacimiento Argentífero Mina Martha, Macizo Del Deseado, Santa Cruz. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 661-662. Jujuy, Argentina.
- PANKHURST, R., LEAT, P., SRUOGA, P., RAPELA, C., MÁRQUEZ, M., STOREY, B., RILEY, T., 1998. The Chon Aike province of Patagonia and related rocks in West Antarctica: a silicic large igneous province. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 81: 113-136.
- RUIZ, R., PÁEZ, G.N., GUIDO, D.M., SCHALAMUK., I.B., 2008a. Ambiente Volcánico y Mineralizaciones del Área Cerro 1ro de Abril, Sector Sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 897-898. Jujuy, Argentina.
- RUIZ, R., PAEZ, G.N., GUIDO, D.M., SCHALAMUK., I.B., 2008b. Extensas Manifestaciones de Hot Spring Asociadas al Centro Volcánico Jurásico del Área Cerro 1ro De Abril, Sector Sudoccidental del Macizo del Deseado, Santa Cruz, Argentina. XVII Congreso Geológico Argentino. Actas (II): 895-896. Jujuy, Argentina.
- RUIZ, R., PAEZ, G.N., GUIDO, D.M., JOVIC, S.M., SCHALAMUK., I.B., 2011. La caldera Cerro 1ro de Abril: evolución geológica e implicancias en el estilo eruptivo del volcanismo Jurásico del Macizo del Deseado. XVIII Congreso Geológico Argentino. Actas (CD-ROM). Neuquén, Argentina.
- SCHALAMUK I.B., DE BARRIO R., ZUBIA M., GENINI A., VALVANO J., 2002. Mineralizaciones auro-argentíferas del Macizo del Deseado y su encuadre metalogénico. En: Haller MJ (ed.) *Geología y recursos naturales de Santa Cruz*. Relatorio 15° Congreso Geológico Argentino: 679–713.
- SIMMONS, S.F.; WHITE, N.C., JOHN, D.A.; 2005. Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits, Society of Economic Geologists, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, p. 485-522.
- SIMS, J., 2010. Martha Mine, Santa Cruz, Argentina: Technical Report. Informe técnico según norma NI43-101: 105 p. Disponible en: <http://www.sedar.com>.
- SILLITOE, R.H., HEDENQUIST, J.W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious-metal deposits, in: Simmons, S.F., Graham, I. (Eds.), *Special Publication N°10: Volcanic, Geothermal, and Ore-Forming Fluids*. Society of Economic Geologists, pp. 315-343.

Anexo I

Geología de superficie
Escala 1:7.500



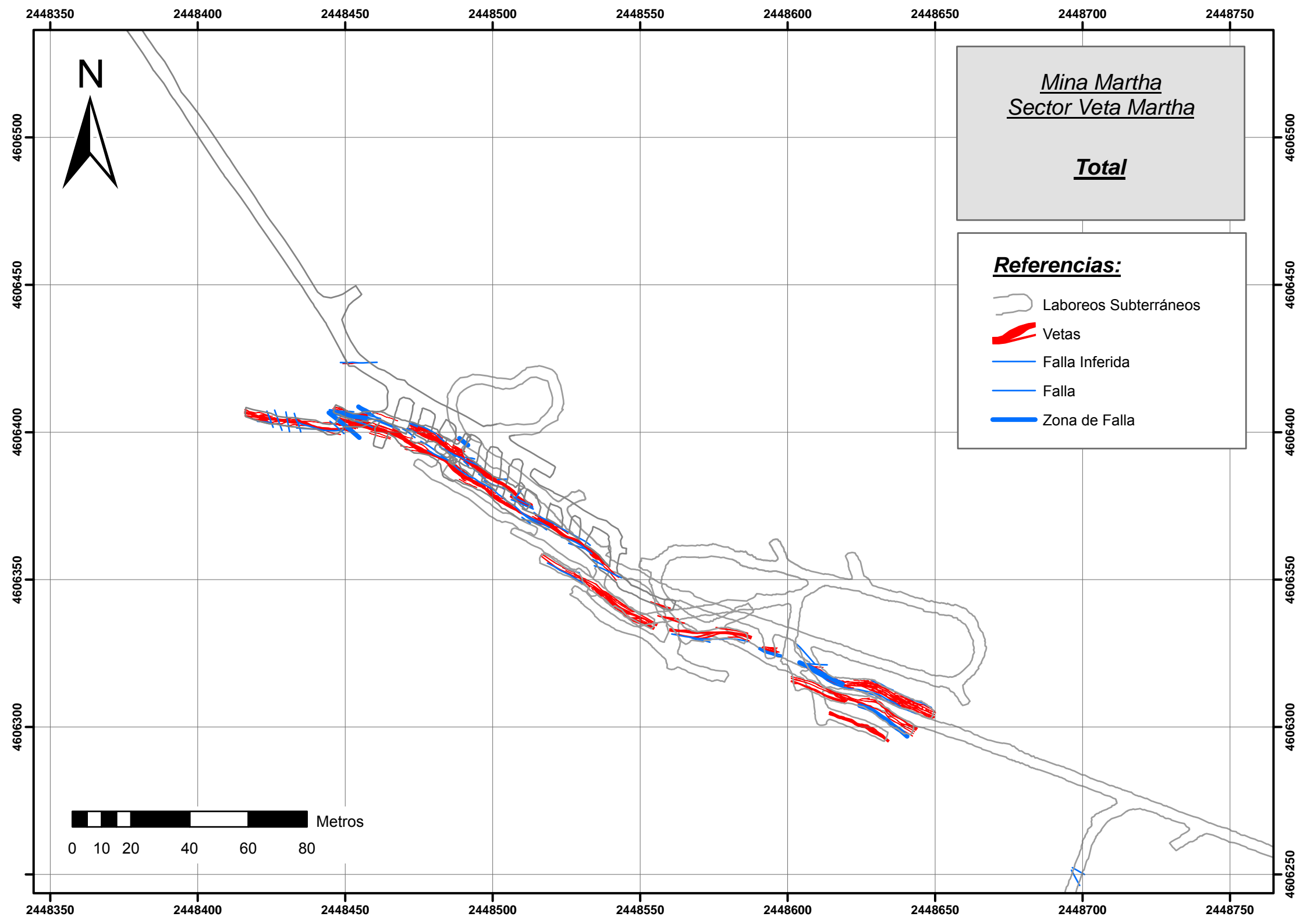
Mina Martha - Mapa Geológico

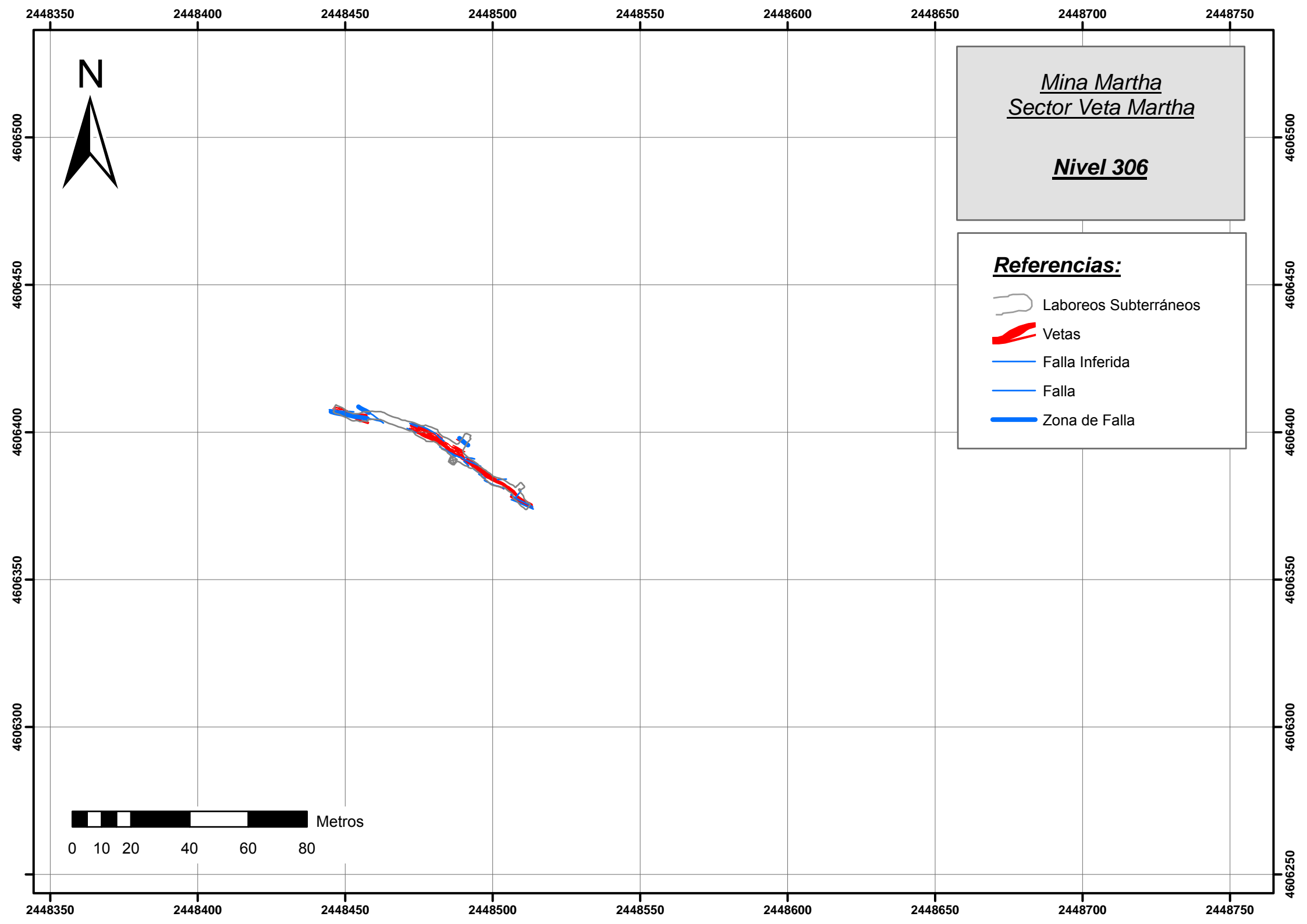
Realizado por: Lic. Gerardo Páez
Dirección: Dr. Diego Guido y Dr. Isidoro Schalamuk

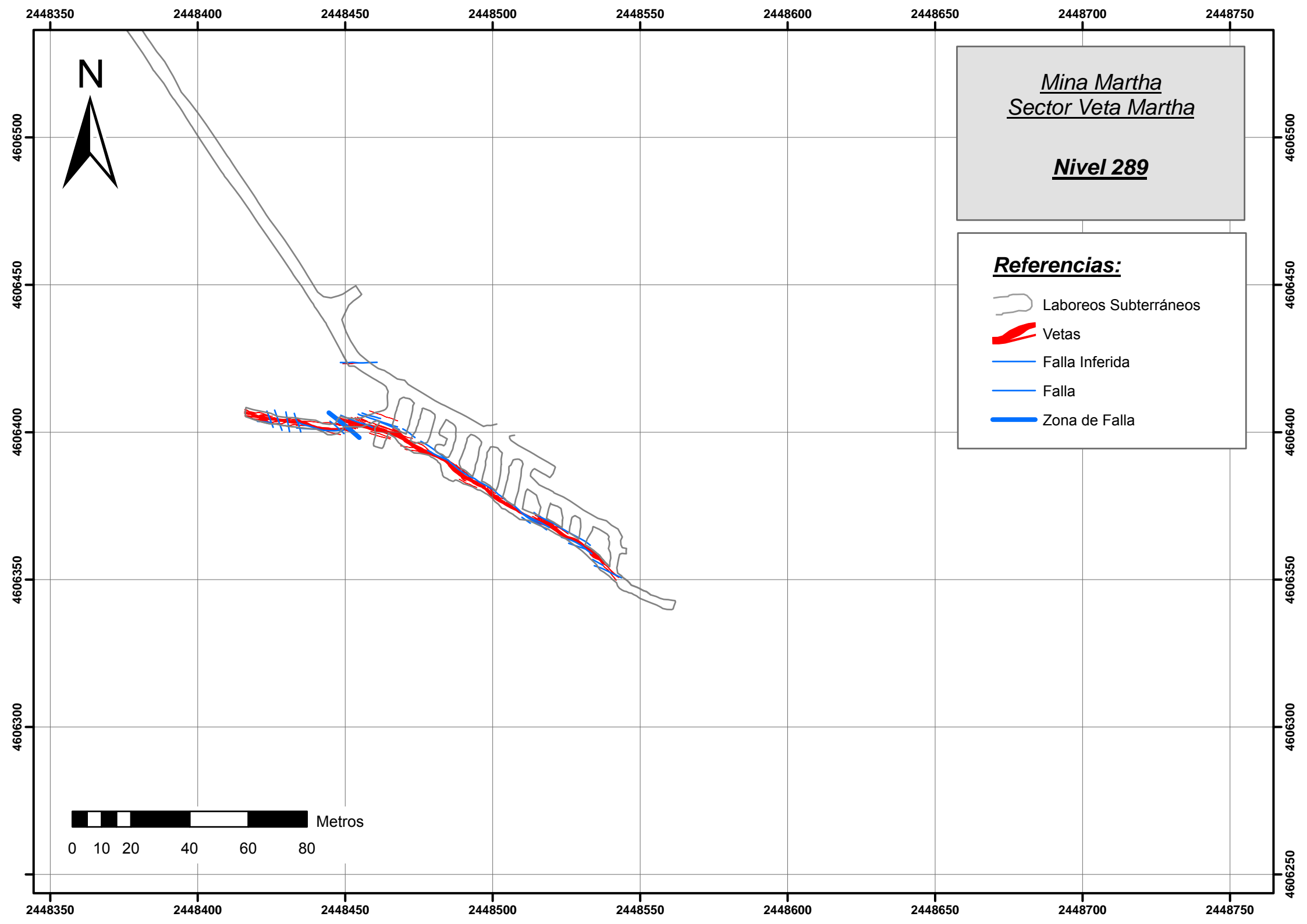
- | | | | |
|--|--|---------------------------|-------------------|
| Sedimentos Aluviales y Coluviales Modernos | Ignimbrita Morada | Estructuras mineralizadas | Laguna |
| Sedimentos Lacustres Modernos | Ignimbrita "Dacítica" | Falla Normal | Ruta Provincial |
| Formación Monte León | Ignimbrita Lítica - Facies Microlítica | Falla normal-dextral | Camino secundario |
| Megabrecha | Ignimbrita Lítica - Facies Megalítica | Falla inferida | Camino minero |
| Diques Microporfíricos | Tufitas Superiores | | Huella |
| Diques Porfíricos | Ignimbrita de Cristales | | |

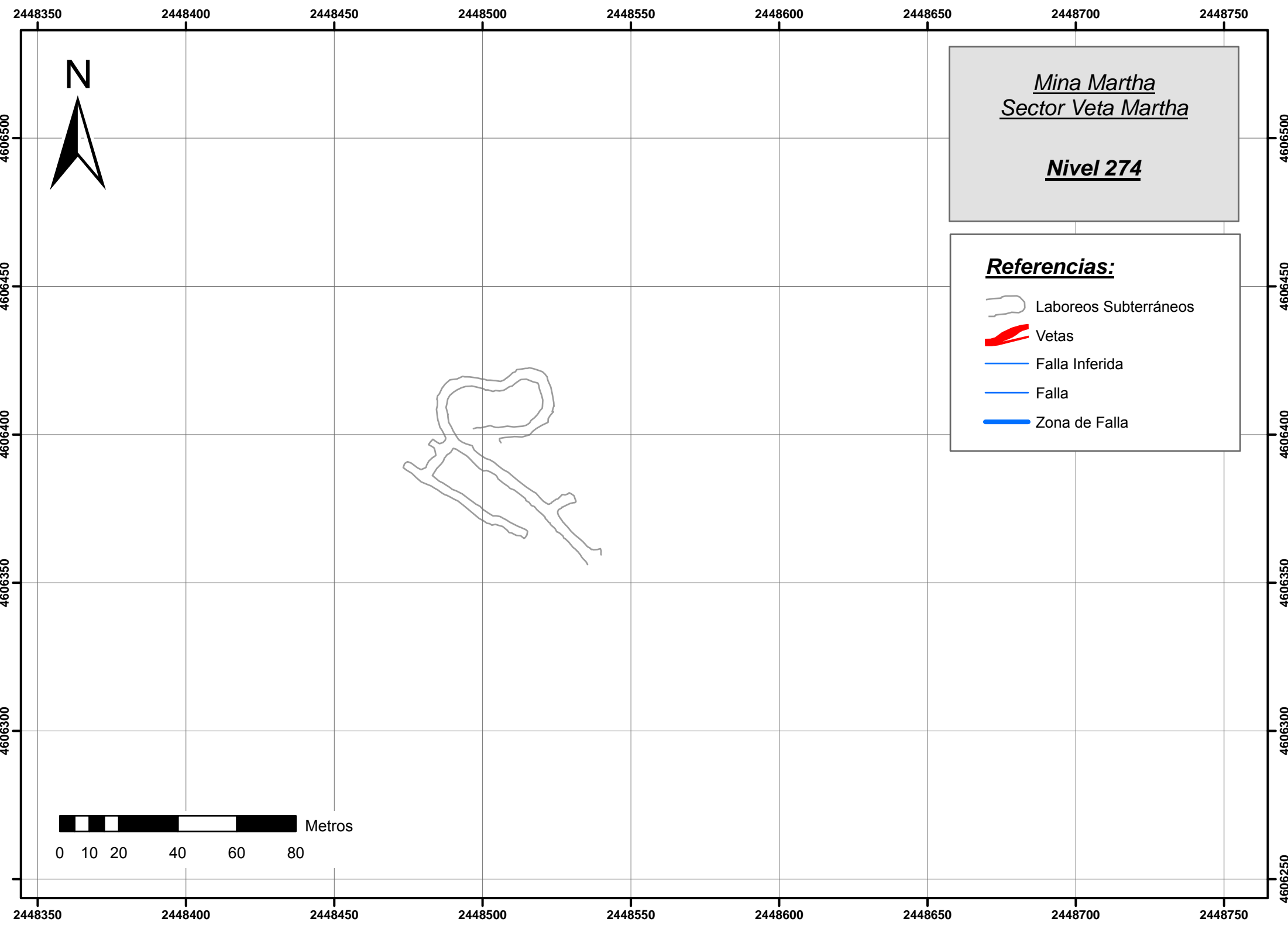
Anexo II

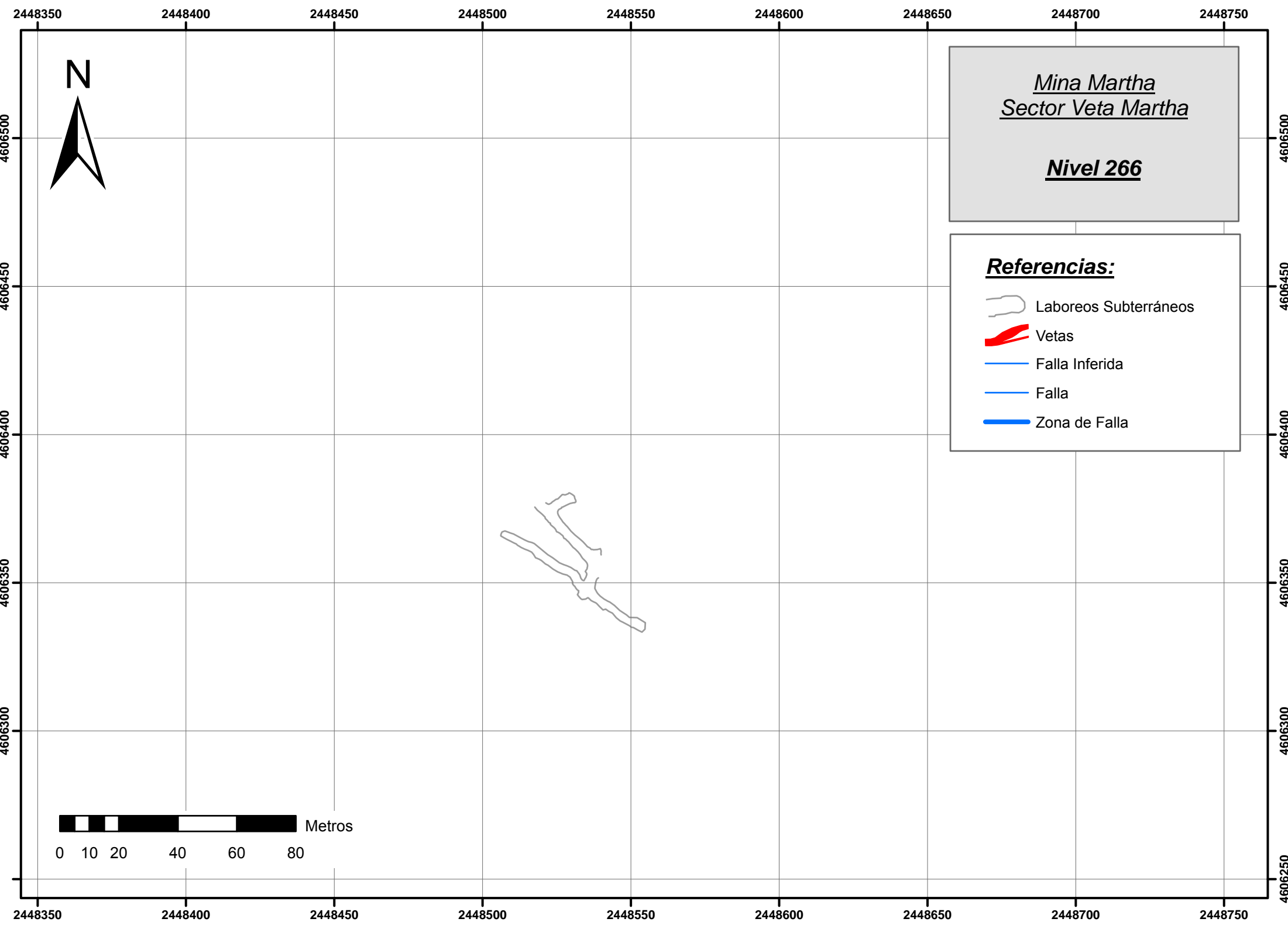
Mapeos de interior mina
Escala 1:1.500

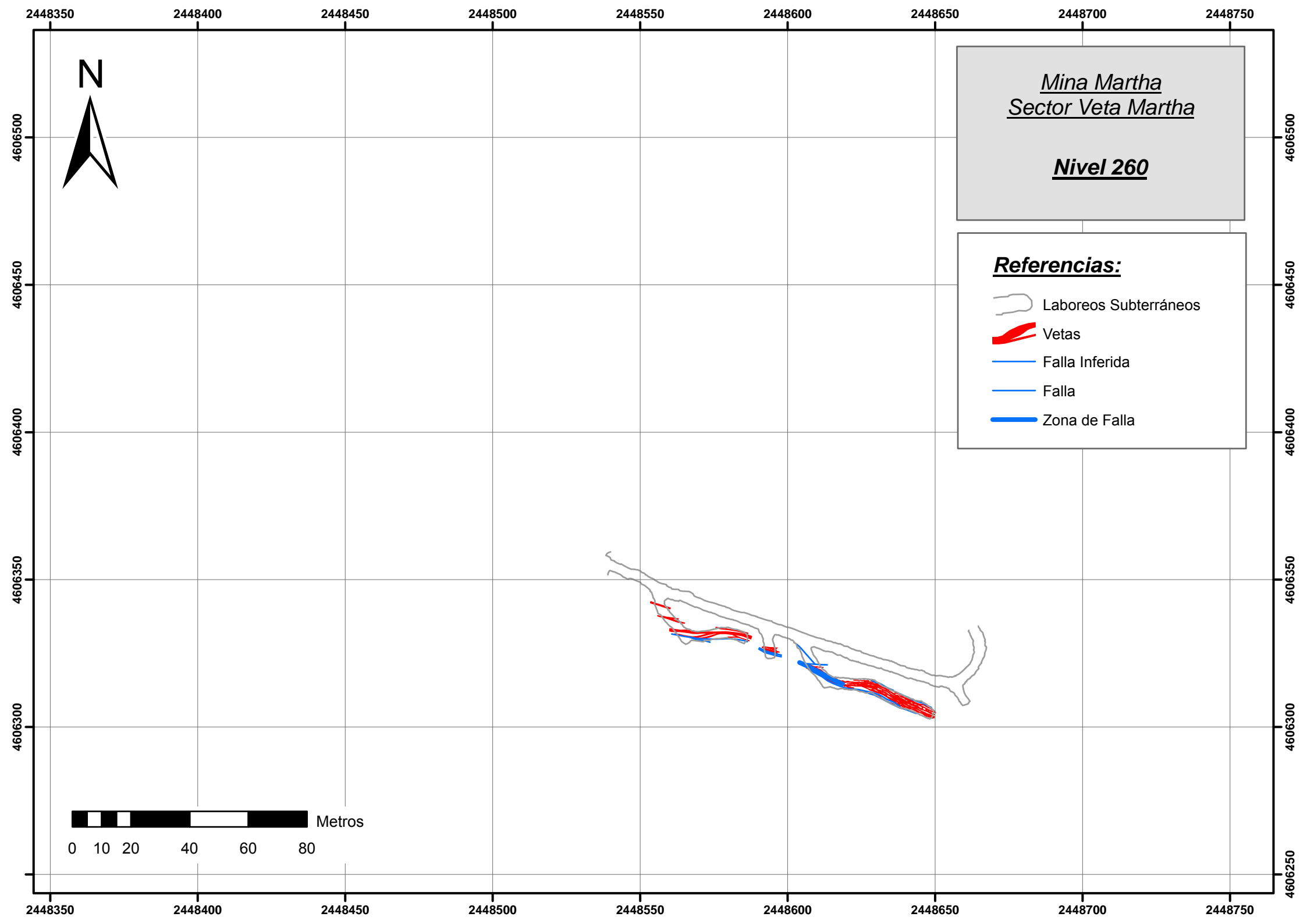


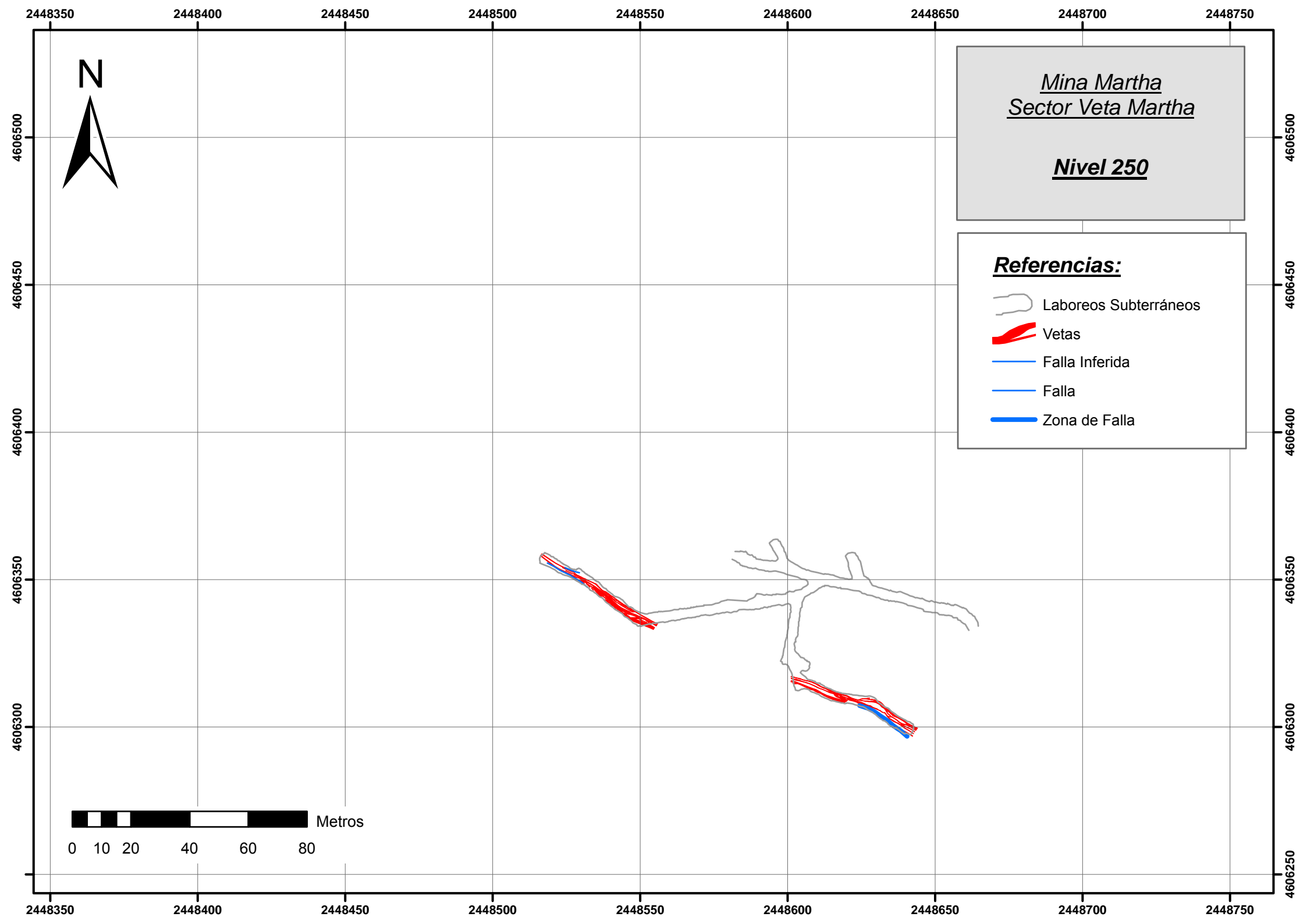


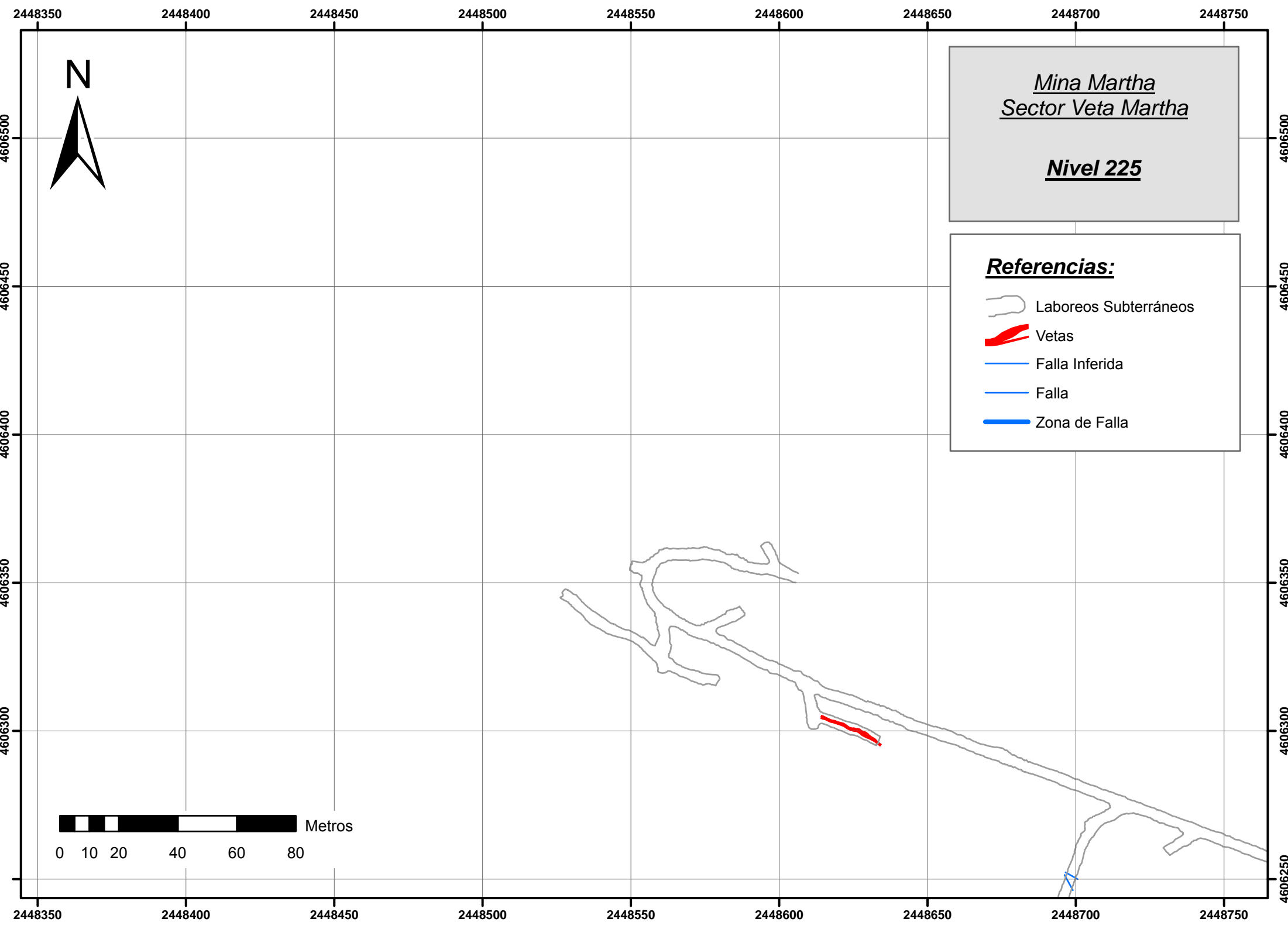


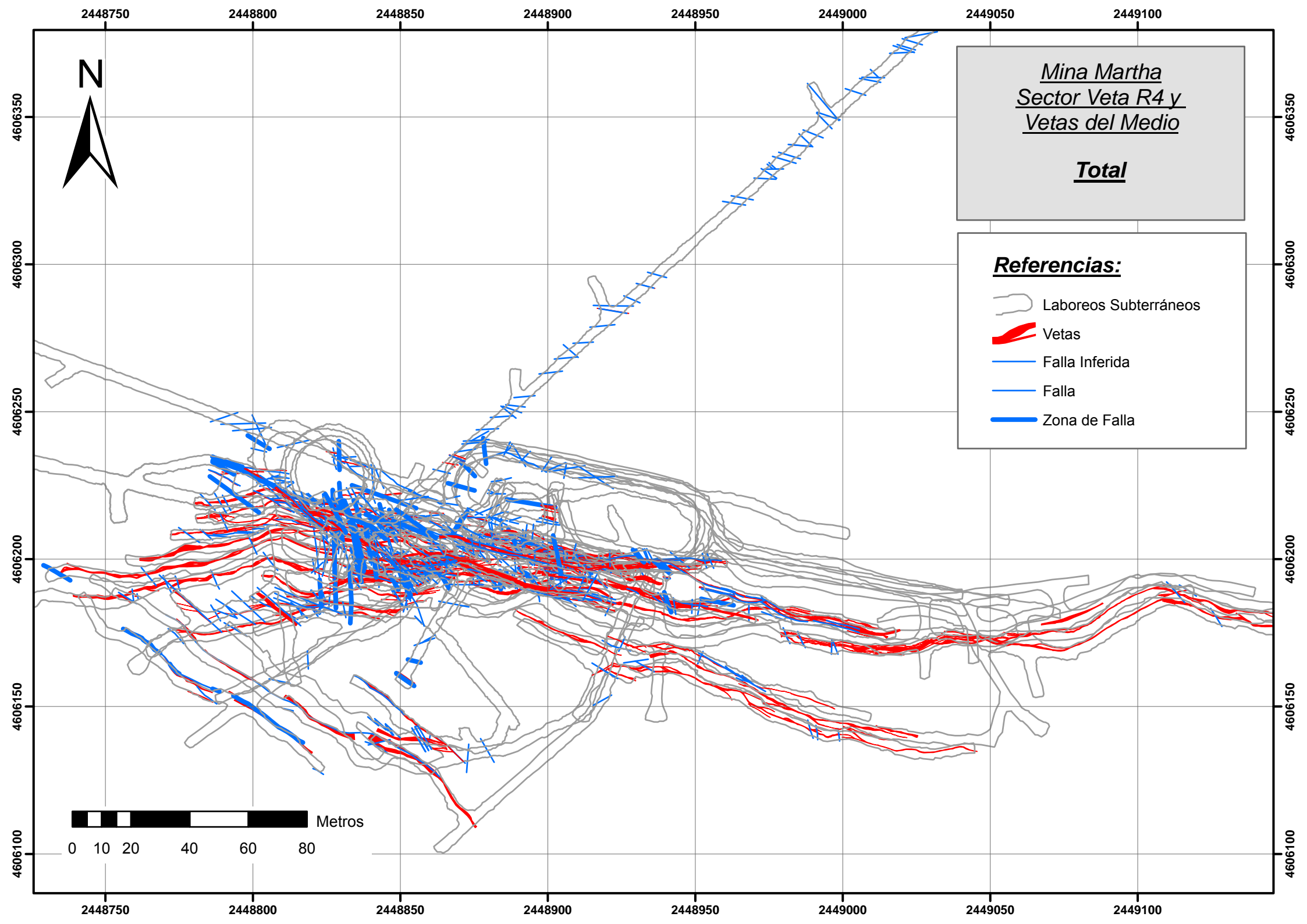


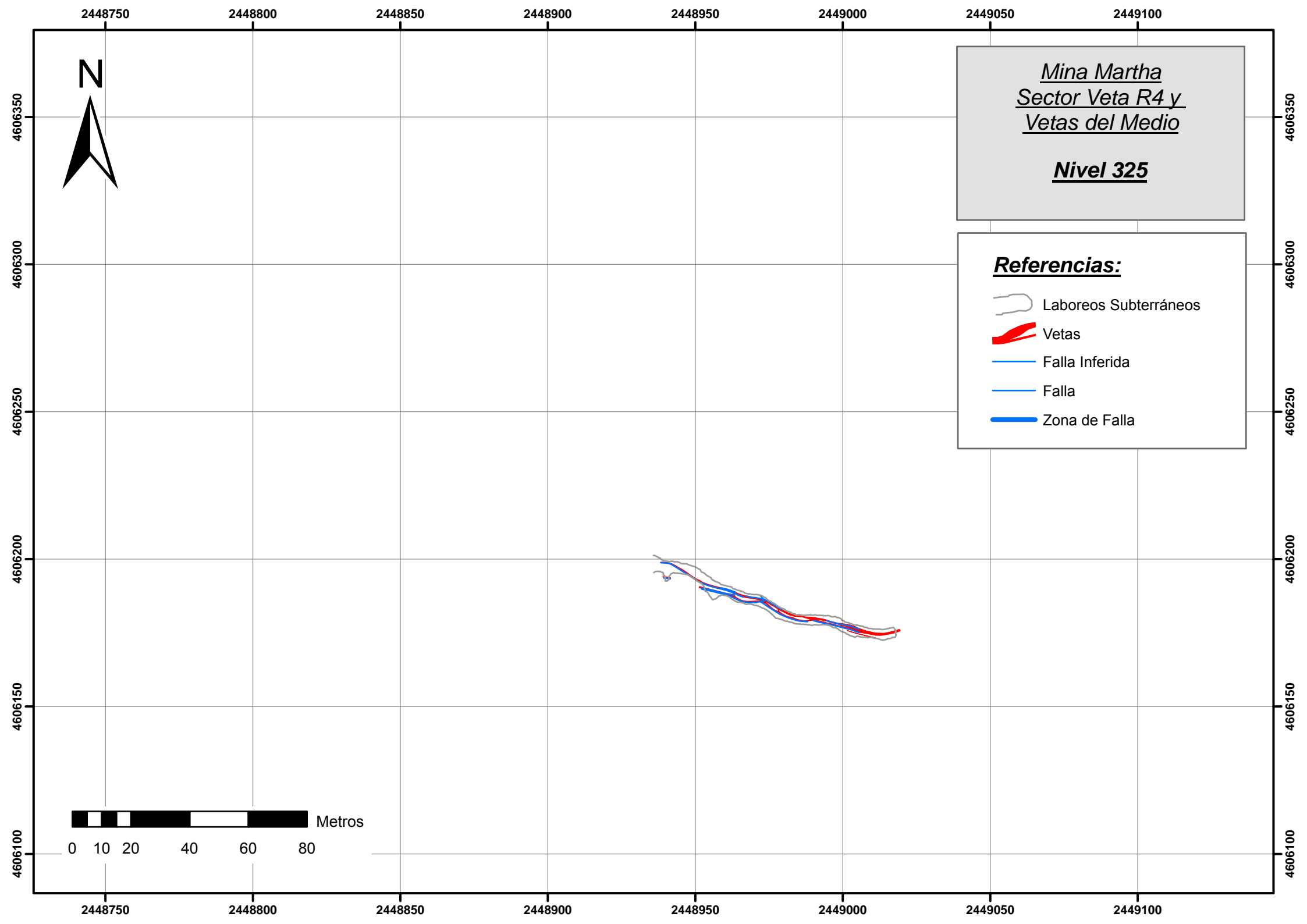


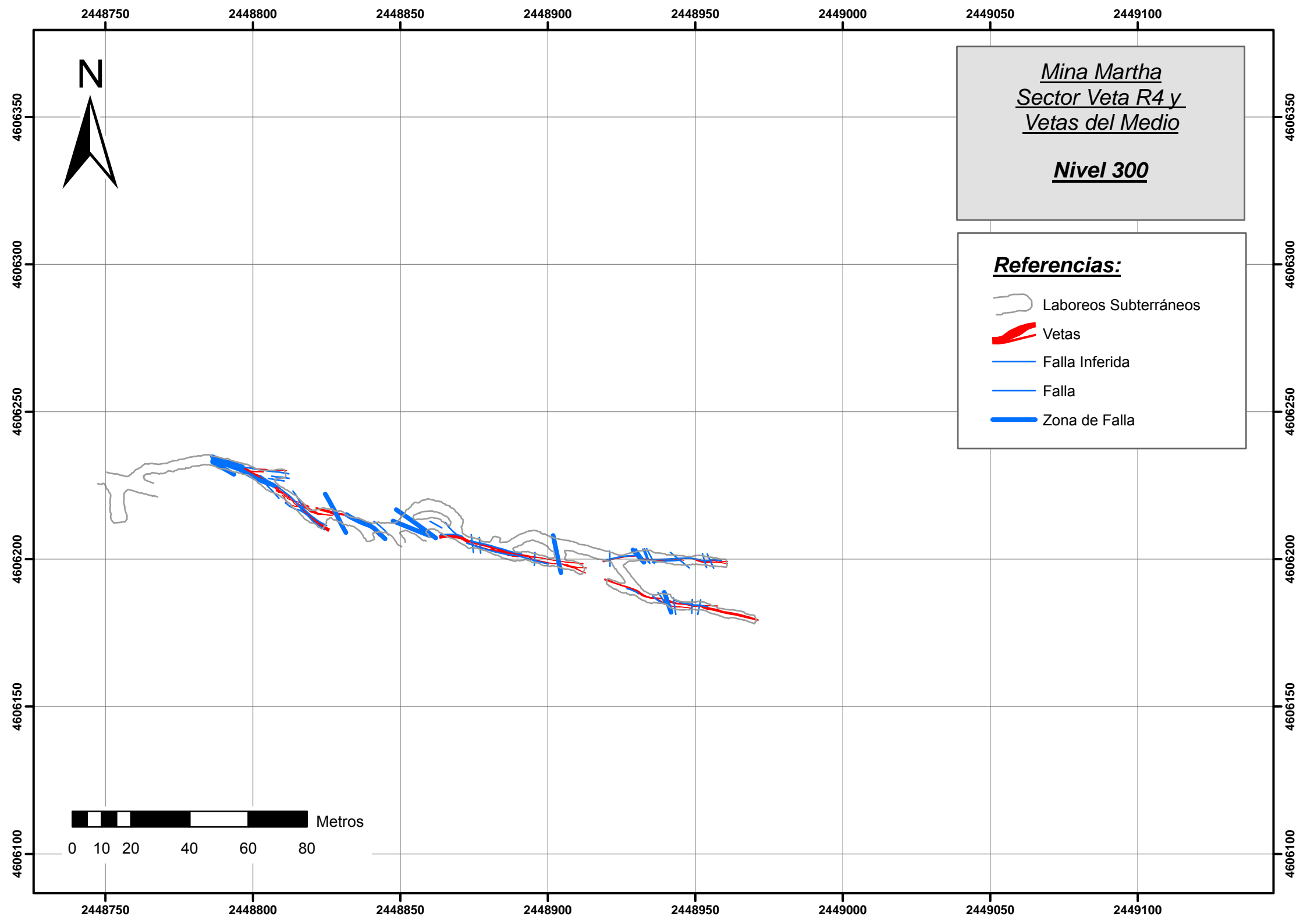


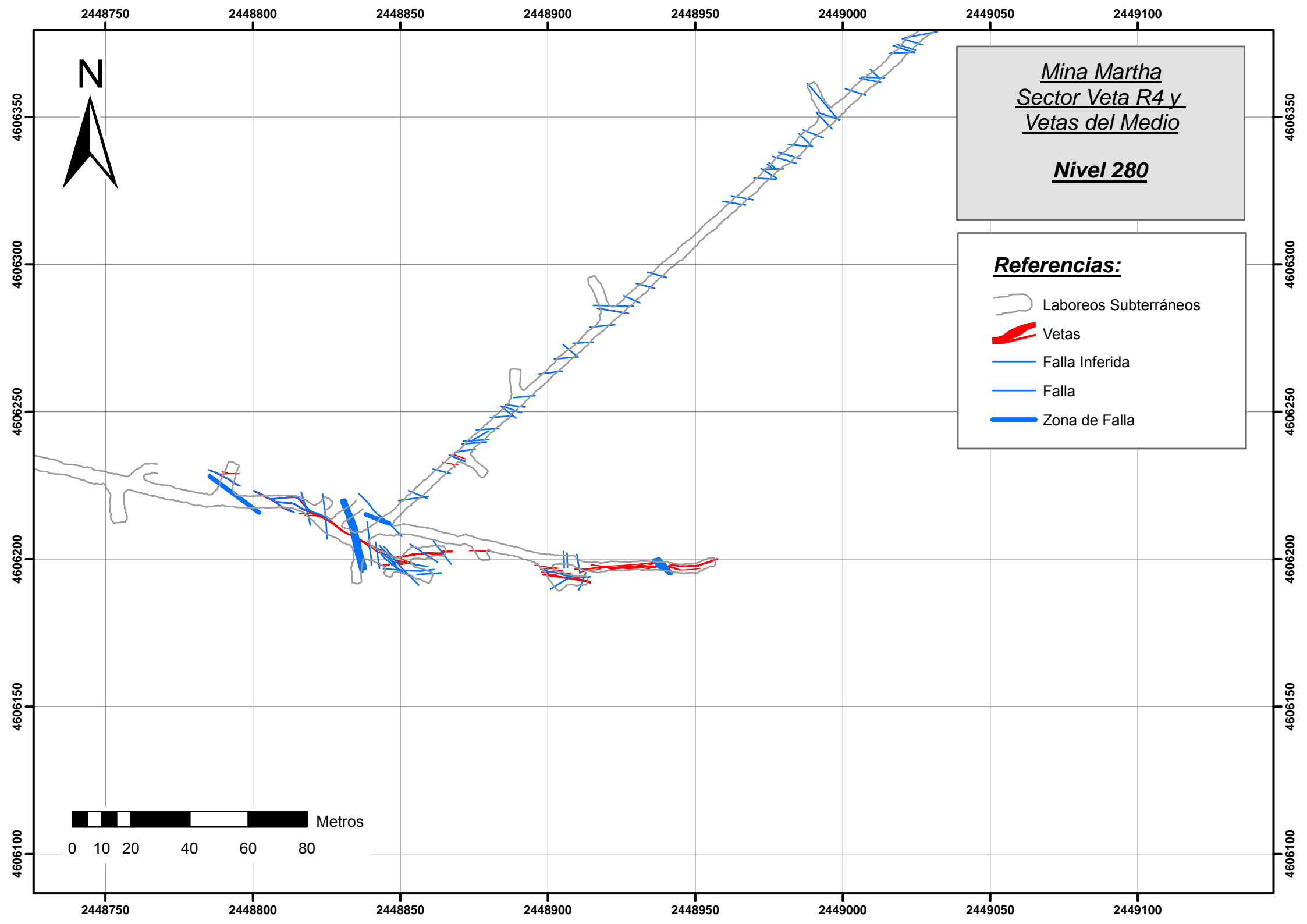


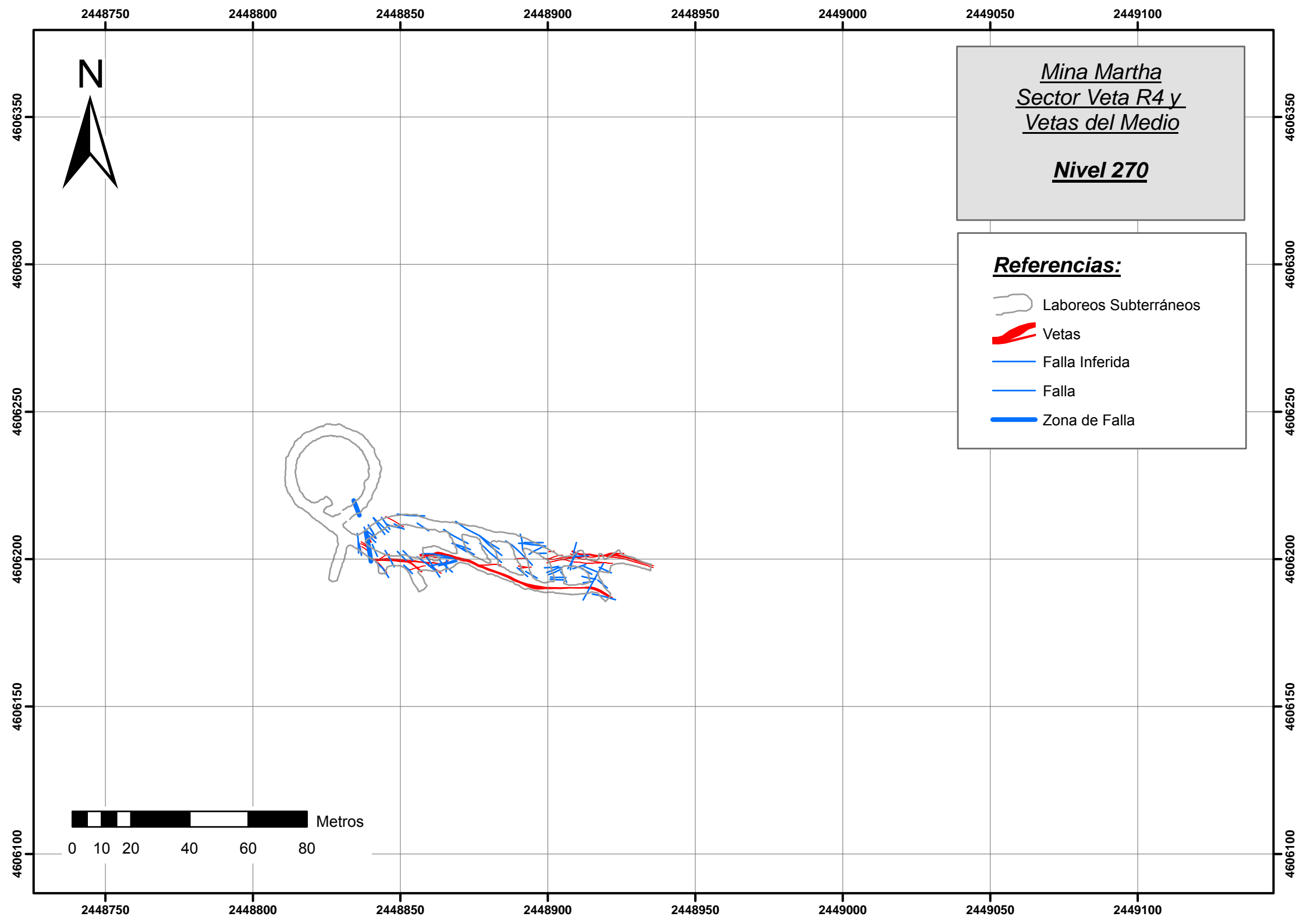


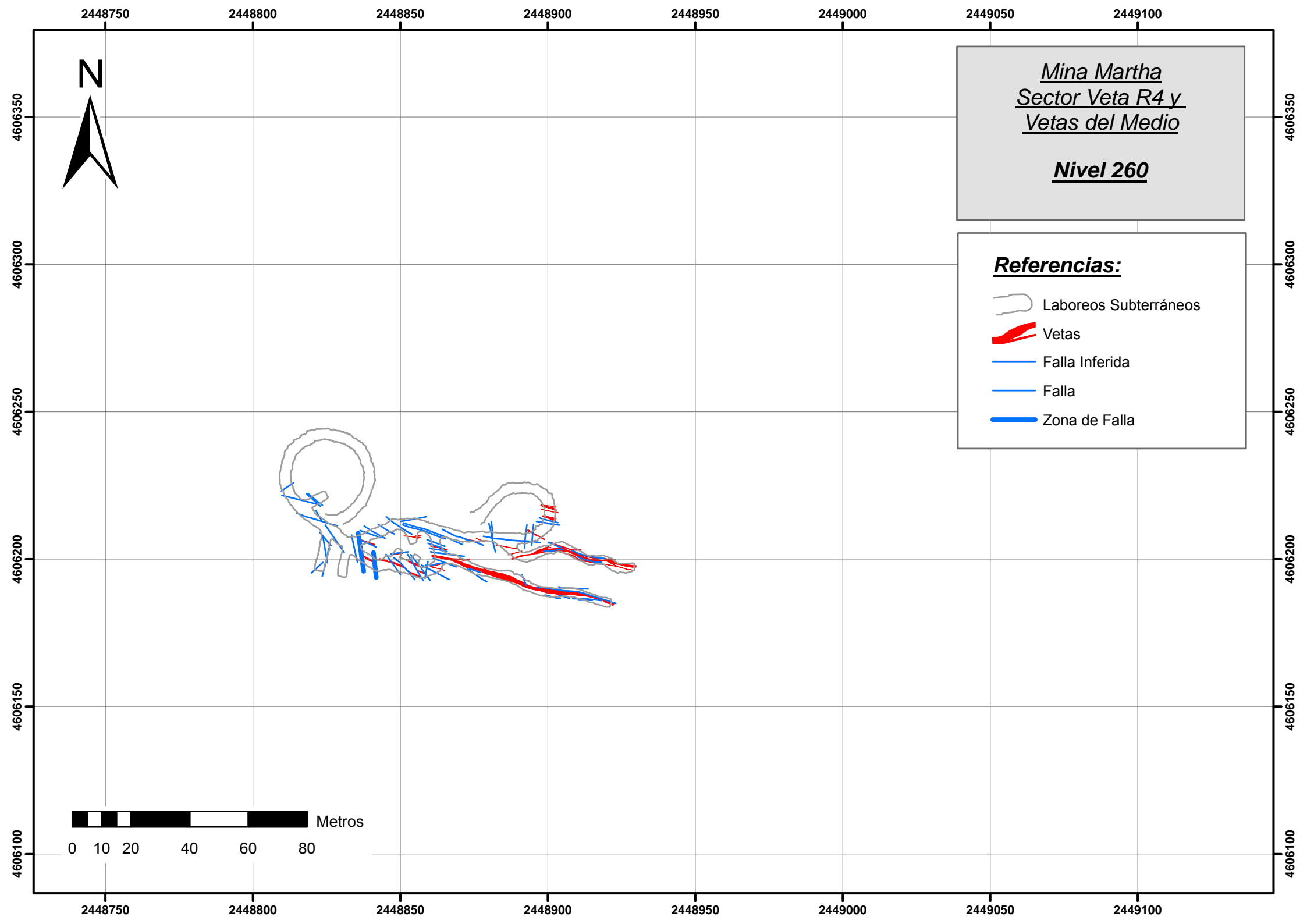


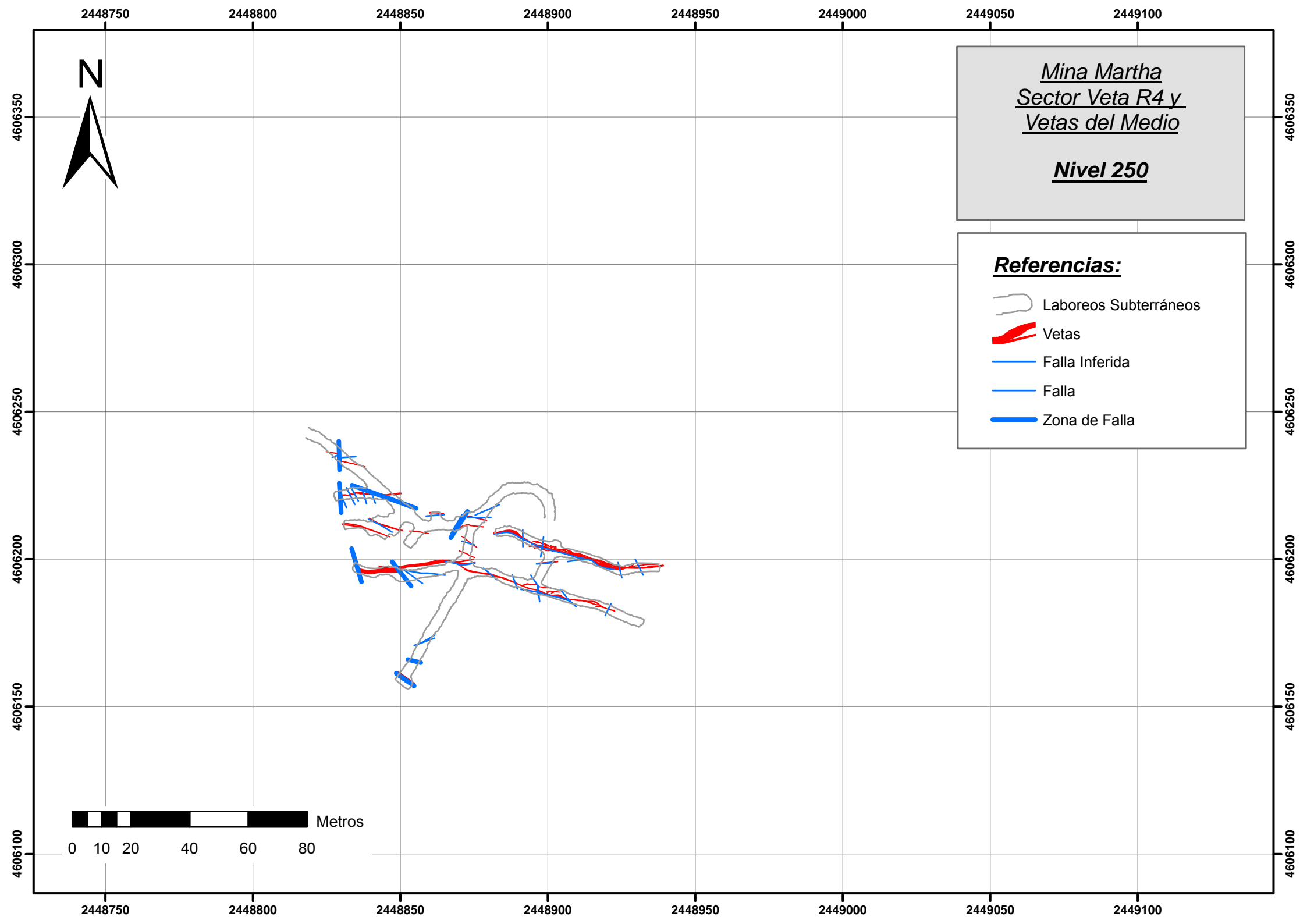


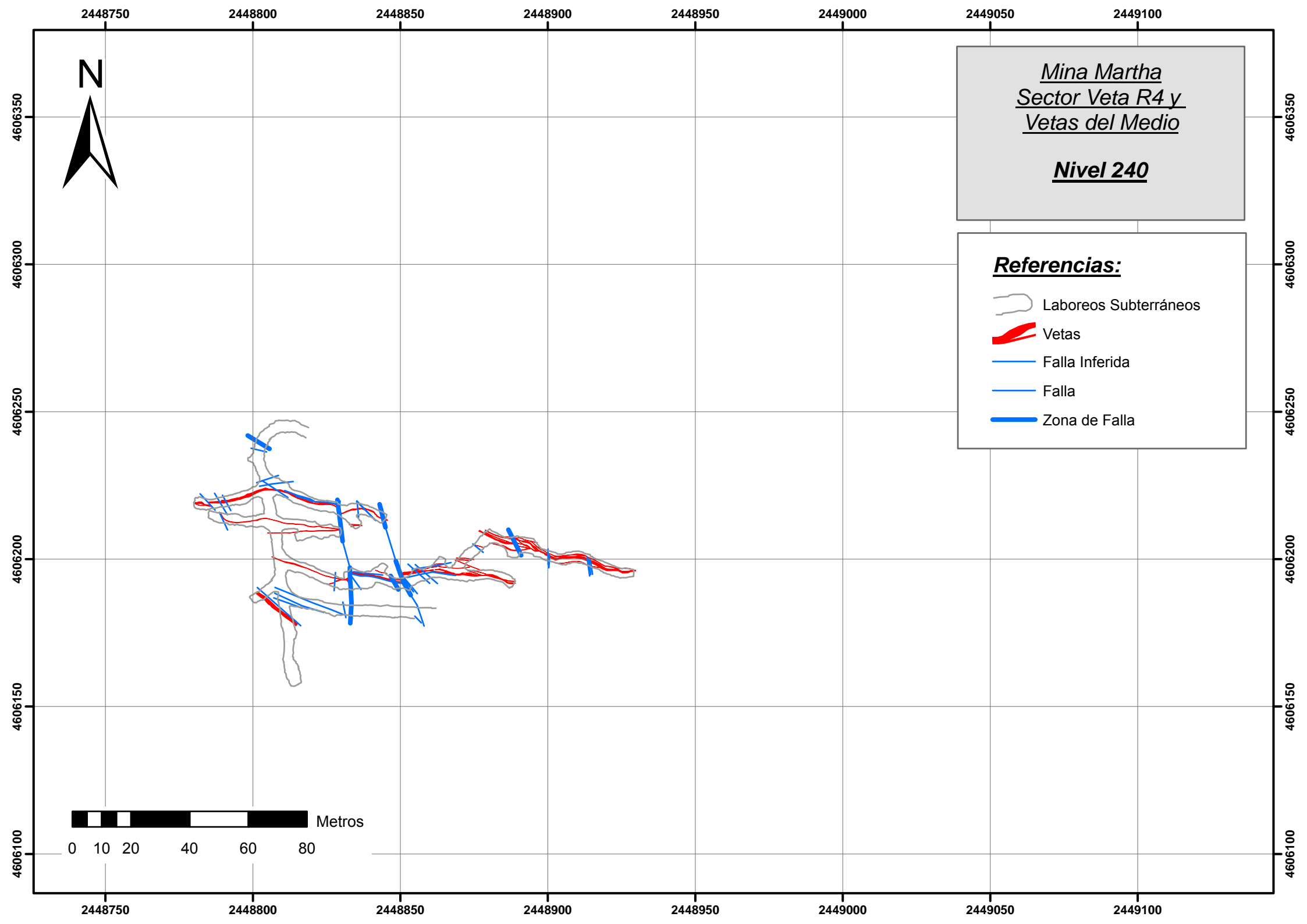


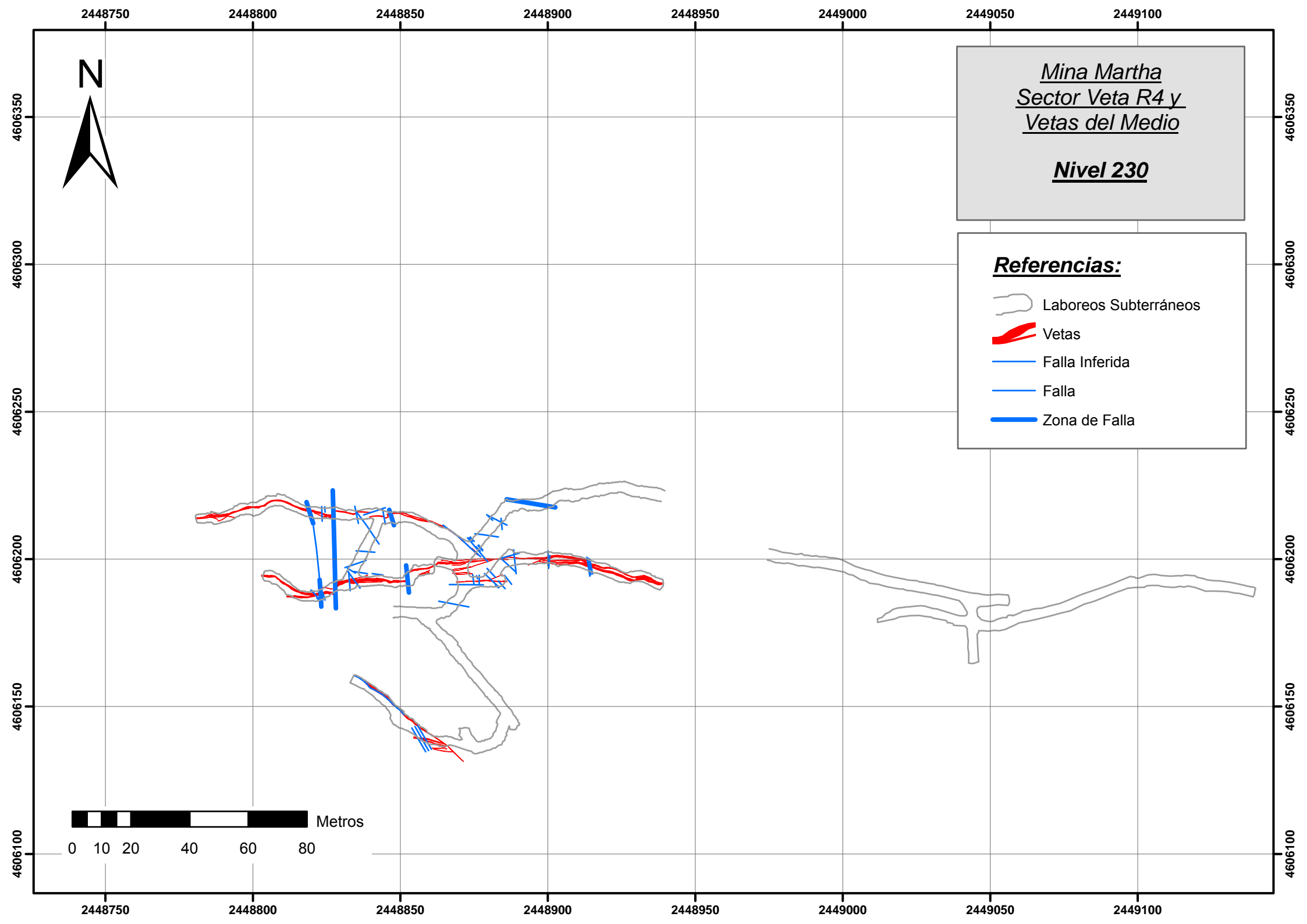


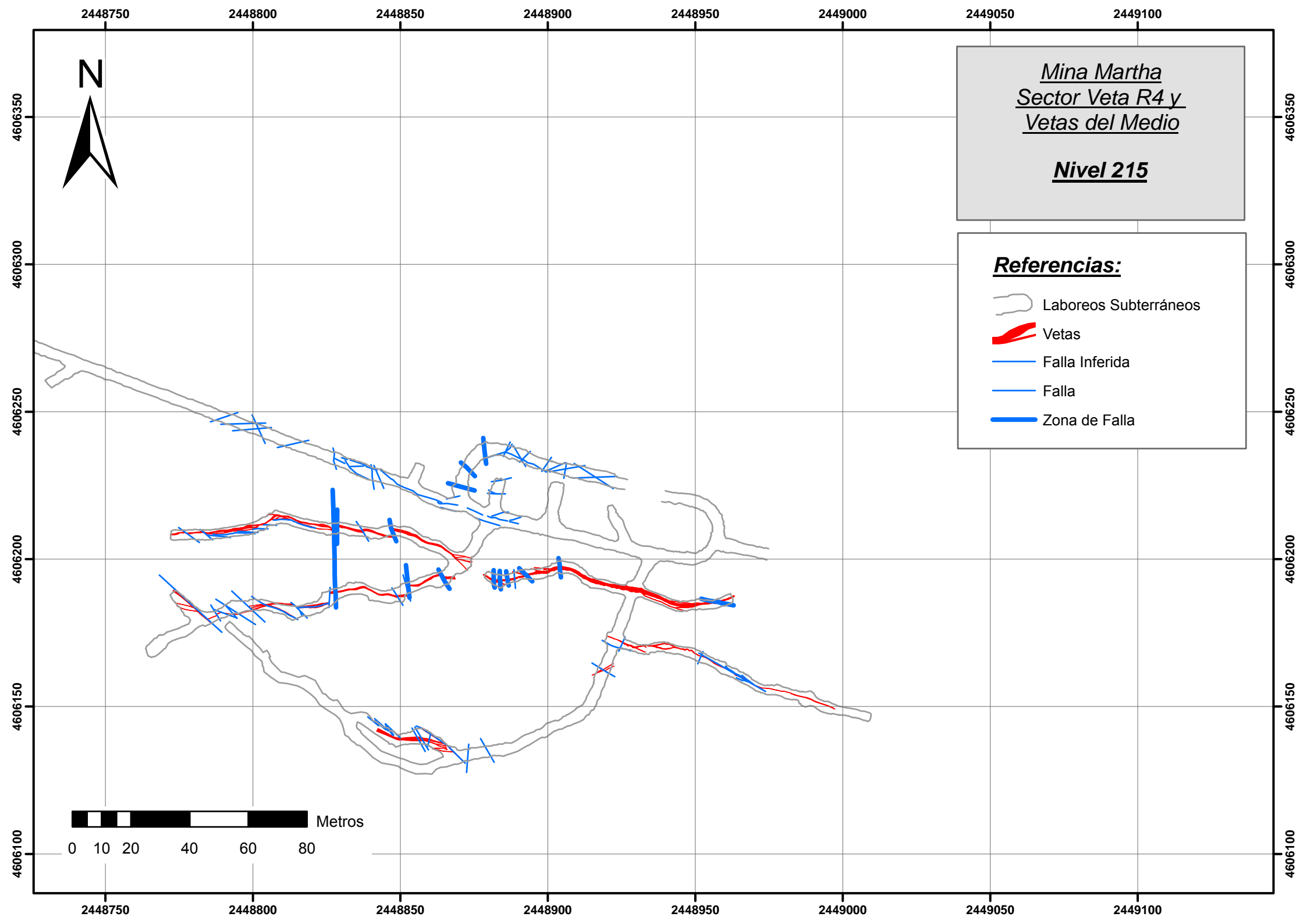

















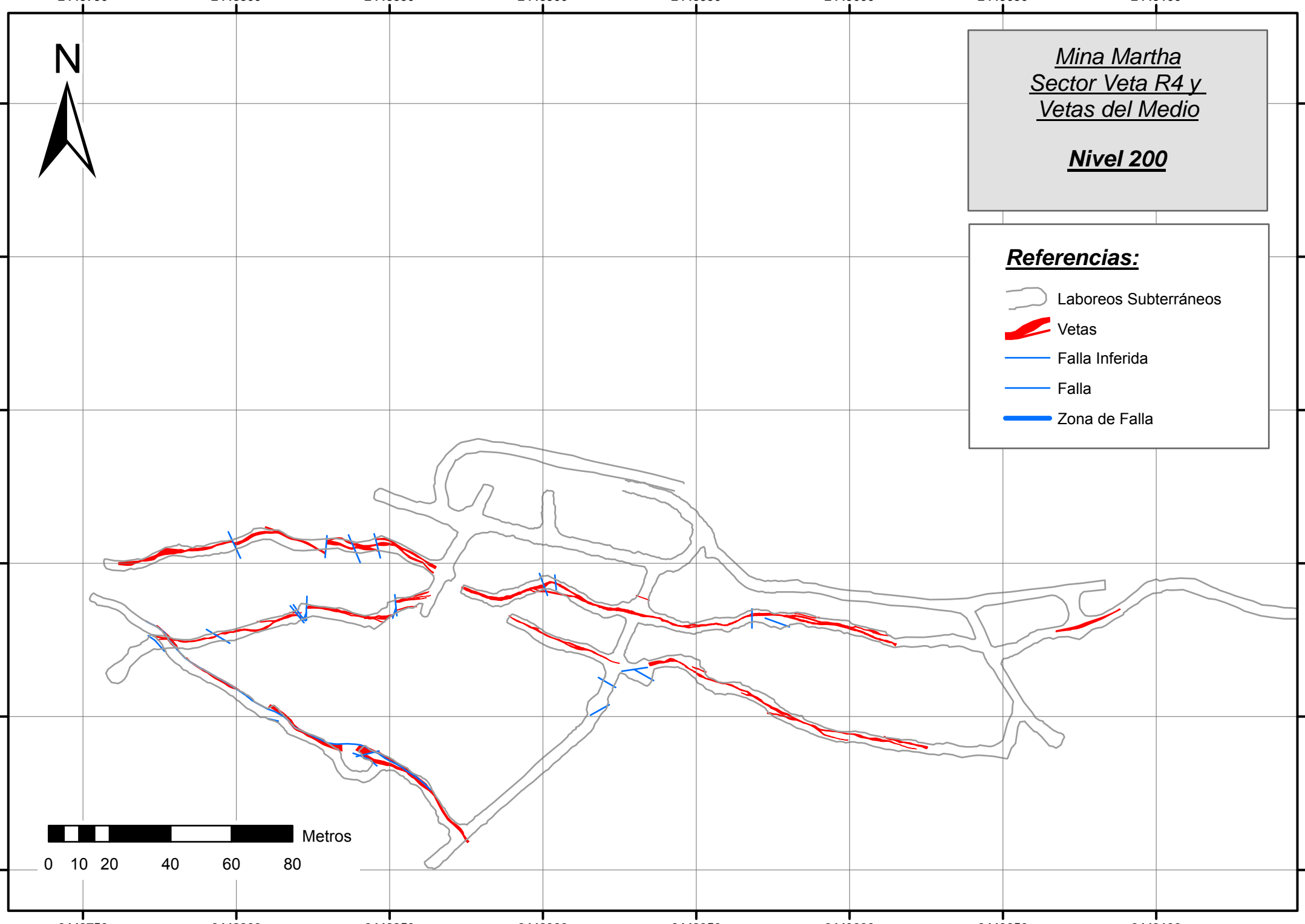
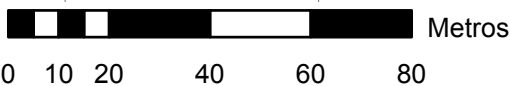


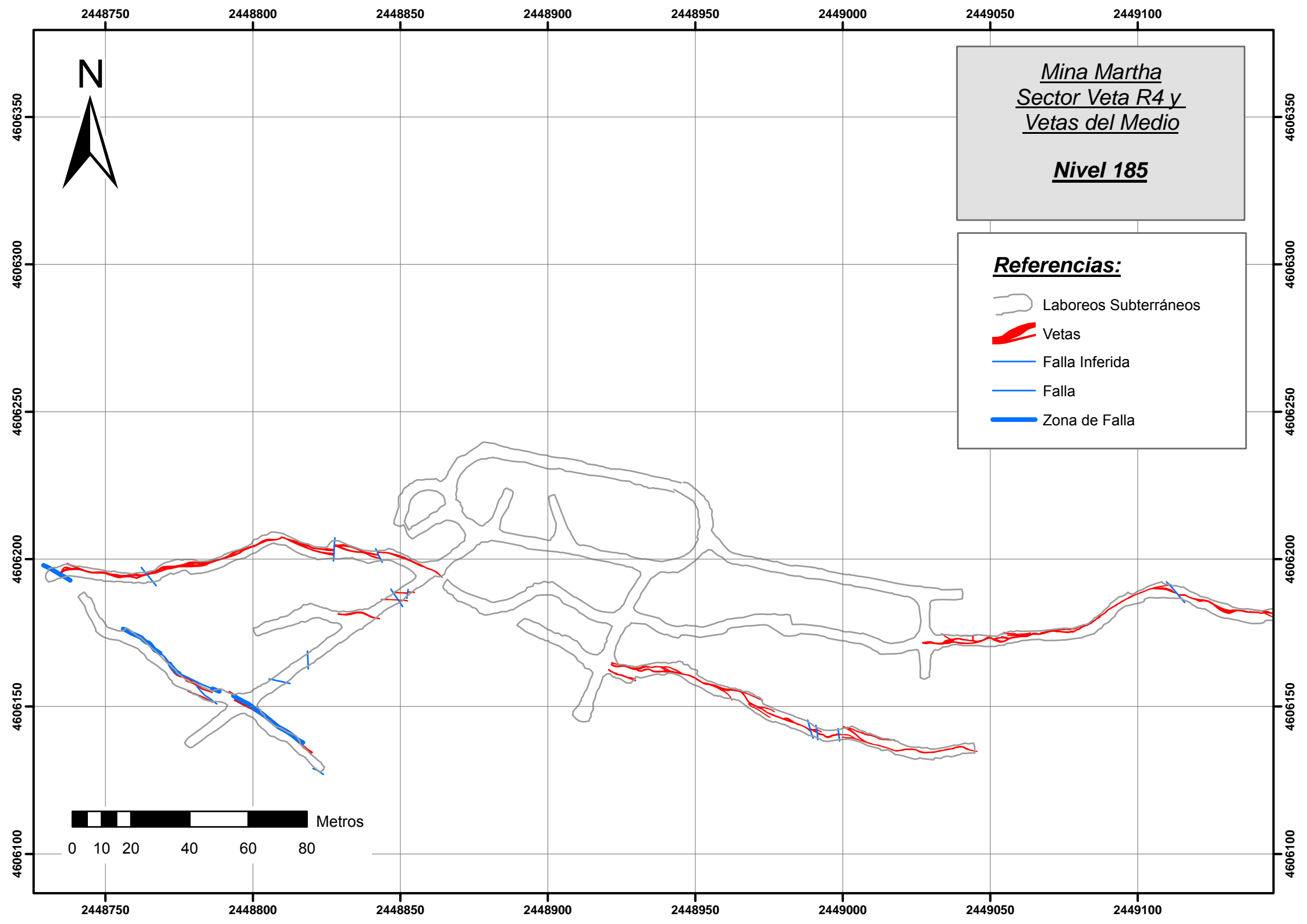
Mina Martha
Sector Veta R4 y
Vetas del Medio

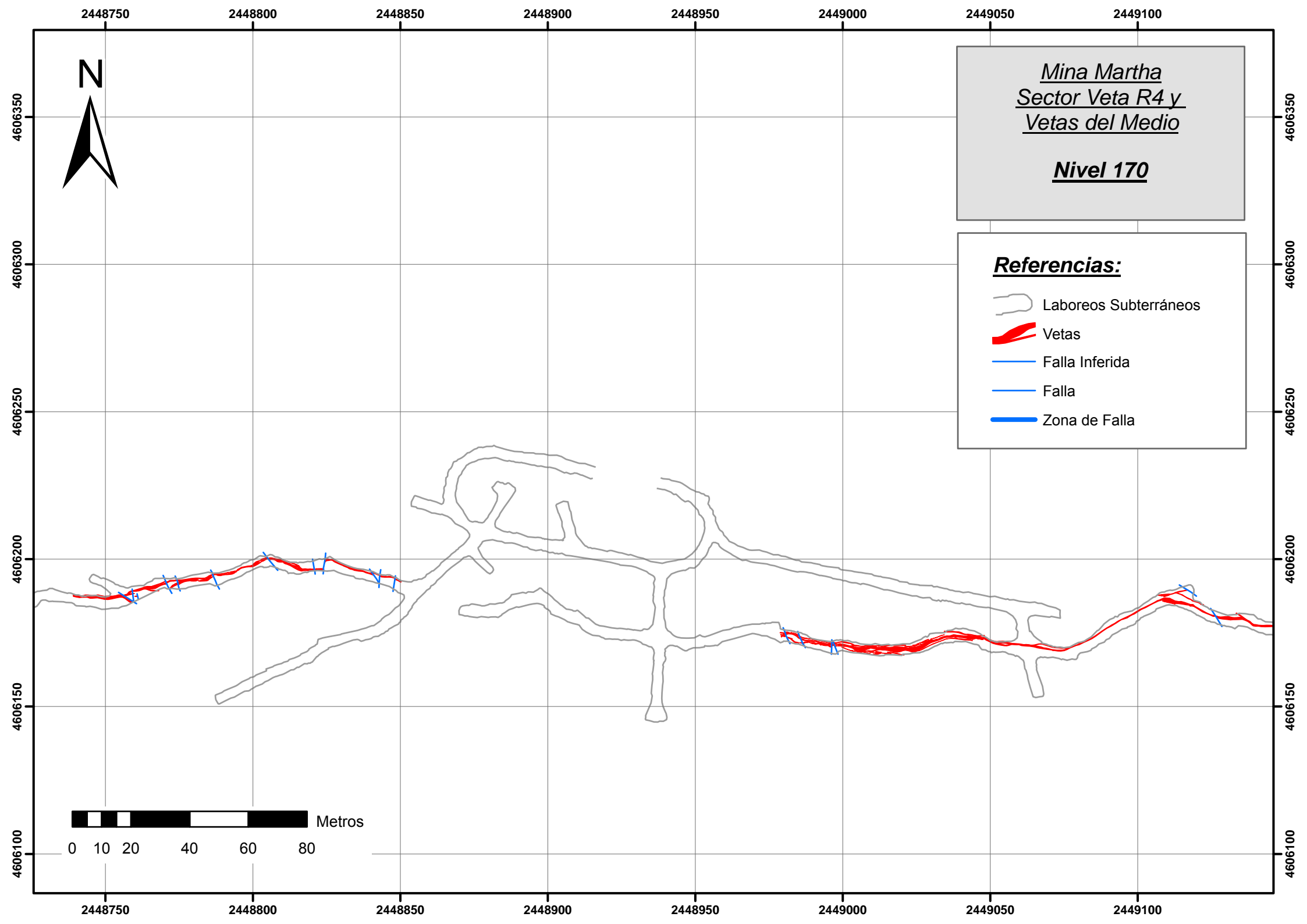
Nivel 200

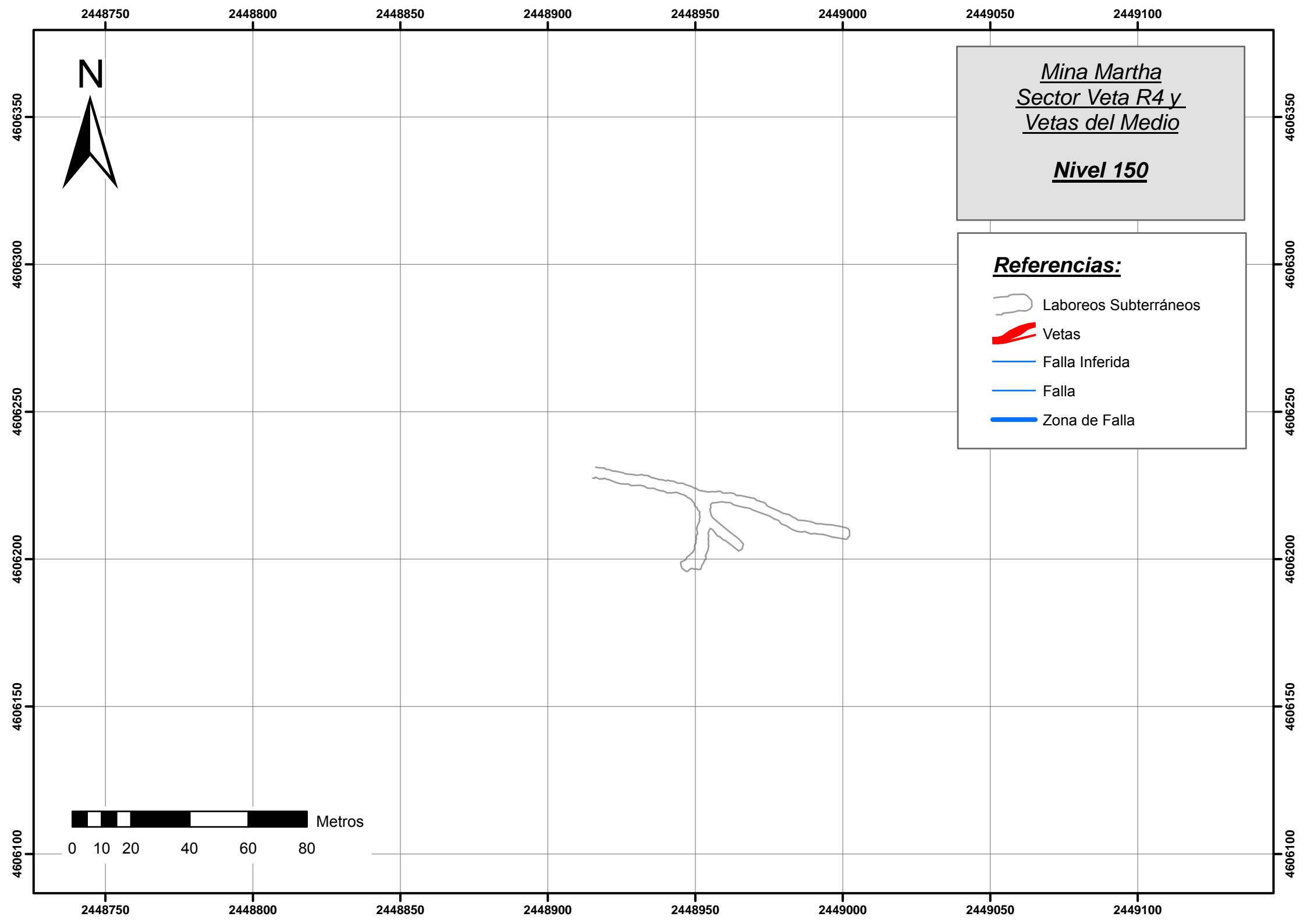
Referencias:

-  Laboreos Subterráneos
-  Vetas
-  Falla Inferida
-  Falla
-  Zona de Falla









Anexo III

Geoquímica de Roca
Acme Labs

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

CLIENT JOB INFORMATION

Project: None Given
 Shipment ID:
 P.O. Number BRANCH FILE 0880732
 Number of Samples: 72

SAMPLE DISPOSAL

RTRN-PLP Return
 RTRN-RJT Return

Acme does not accept responsibility for samples left at the laboratory after 90 days without prior written instructions for sample storage or return.

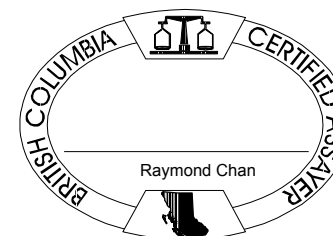
Invoice To: Instituto de Recursos Minerales (INREMI)
 Call 64 No.3 Esp 120
 Universidad Nacional de la Plata
 La Plata Buenos Aires 1900
 Argentina

CC: Remigio Ruiz

SAMPLE PREPARATION AND ANALYTICAL PROCEDURES

| Method Code | Number of Samples | Code Description | Test Wgt (g) | Report Status |
|-------------|-------------------|---|--------------|---------------|
| R150 | 72 | Crush, split and pulverize rock to 150 mesh | | |
| 4A&4B | 72 | Whole Rock Analysis Majors and Trace Elements | 0.2 | Completed |

ADDITIONAL COMMENTS



CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | TiO2 | P2O5 | MnO | Cr2O3 | Ni | Sc | LOI | Sum | Ba | Be | Co | Cs | Ga |
| | | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.002 | 20 | 1 | -5.1 | 0.01 | 1 | 1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| 6702 | Rock | 70.49 | 13.79 | 3.44 | 0.30 | 0.42 | 1.29 | 7.27 | 0.22 | 0.022 | 0.02 | <0.002 | <20 | 5 | 2.5 | 99.78 | 964 | 3 | 2.8 | 6.2 | 16.4 |
| 6703 | Rock | 60.55 | 16.34 | 6.58 | 2.06 | 5.11 | 3.24 | 1.30 | 0.68 | 0.158 | 0.13 | <0.002 | <20 | 18 | 3.6 | 99.73 | 1054 | 2 | 13.8 | 12.6 | 17.6 |
| 6707 | Rock | 68.15 | 14.61 | 3.42 | 0.15 | 0.15 | 0.53 | 11.46 | 0.23 | 0.011 | 0.02 | <0.002 | <20 | 7 | 1.0 | 99.70 | 1666 | 2 | 1.6 | 11.4 | 17.5 |
| 6709 | Rock | 70.87 | 14.45 | 3.07 | 0.29 | 1.31 | 2.64 | 4.82 | 0.22 | 0.048 | 0.02 | <0.002 | <20 | 5 | 2.0 | 99.78 | 999 | 2 | 2.8 | 40.4 | 15.8 |
| 6715 | Rock | 58.21 | 17.25 | 6.85 | 2.37 | 7.13 | 2.58 | 1.08 | 0.72 | 0.175 | 0.13 | 0.003 | <20 | 20 | 3.2 | 99.71 | 609 | 2 | 13.2 | 327.8 | 19.0 |
| 6717 | Rock | 63.18 | 16.57 | 6.60 | 0.70 | 2.33 | 4.95 | 3.27 | 0.72 | 0.159 | 0.05 | <0.002 | <20 | 17 | 1.3 | 99.79 | 696 | 2 | 8.2 | 6.0 | 17.1 |
| 6733 | Rock | 71.46 | 13.49 | 2.59 | 0.44 | 0.22 | 0.97 | 8.96 | 0.26 | 0.043 | 0.04 | <0.002 | <20 | 7 | 1.3 | 99.74 | 1387 | 2 | 3.7 | 6.0 | 14.1 |
| 6736 | Rock | 76.01 | 11.99 | 2.18 | 0.28 | 0.67 | 2.14 | 4.69 | 0.09 | 0.010 | 0.02 | <0.002 | <20 | 8 | 1.8 | 99.83 | 1079 | 3 | <0.2 | 5.6 | 13.9 |
| 6740 | Rock | 73.66 | 12.38 | 2.31 | 0.20 | 1.10 | 2.07 | 4.92 | 0.10 | 0.008 | 0.02 | <0.002 | <20 | 5 | 3.1 | 99.84 | 769 | 2 | 0.4 | 44.6 | 14.2 |
| 6744 | Rock | 60.04 | 16.79 | 7.44 | 1.77 | 6.44 | 3.58 | 0.88 | 0.84 | 0.191 | 0.12 | <0.002 | <20 | 20 | 1.7 | 99.75 | 591 | 2 | 12.7 | 246.4 | 18.4 |
| 6748 | Rock | 71.50 | 13.27 | 2.83 | 0.57 | 1.47 | 1.90 | 4.84 | 0.15 | 0.038 | 0.05 | <0.002 | <20 | 9 | 3.1 | 99.75 | 1515 | 2 | 1.3 | 8.1 | 16.1 |
| 6751 | Rock | 75.98 | 11.83 | 1.07 | 0.03 | 0.04 | 0.13 | 10.37 | 0.16 | <0.001 | <0.01 | <0.002 | 22 | 2 | 0.2 | 99.81 | 1161 | <1 | 1.3 | 1.9 | 8.4 |
| 6752 | Rock | 59.85 | 16.18 | 5.99 | 4.43 | 5.80 | 2.86 | 2.35 | 0.56 | 0.148 | 0.11 | 0.031 | 82 | 17 | 1.3 | 99.66 | 1112 | 2 | 18.4 | 2.5 | 18.6 |
| 6756 | Rock | 61.40 | 16.98 | 6.03 | 1.47 | 5.24 | 3.00 | 2.43 | 0.62 | 0.148 | 0.08 | 0.003 | <20 | 16 | 2.4 | 99.75 | 681 | 3 | 10.4 | 5.0 | 19.2 |
| 6757 | Rock | 71.67 | 12.51 | 2.69 | 0.53 | 1.98 | 0.68 | 5.02 | 0.16 | 0.031 | 0.05 | <0.002 | <20 | 9 | 4.5 | 99.78 | 1177 | 3 | 2.3 | 8.1 | 15.4 |
| 6758 | Rock | 63.52 | 17.08 | 4.79 | 1.01 | 3.91 | 3.46 | 3.25 | 0.45 | 0.147 | 0.07 | <0.002 | <20 | 13 | 2.1 | 99.77 | 908 | 2 | 6.3 | 4.8 | 19.8 |
| 6761 | Rock | 75.74 | 12.68 | 1.56 | 0.10 | 0.15 | 0.74 | 7.03 | 0.10 | 0.021 | 0.01 | <0.002 | <20 | 4 | 1.7 | 99.82 | 828 | 2 | <0.2 | 9.8 | 15.8 |
| 6764 | Rock | 72.38 | 12.92 | 2.71 | 0.15 | 0.14 | 0.81 | 9.42 | 0.13 | 0.012 | 0.01 | 0.007 | <20 | 8 | 1.1 | 99.82 | 819 | 2 | 3.1 | 8.9 | 15.2 |
| 6767 | Rock | 74.99 | 12.36 | 2.39 | 0.27 | 0.12 | 0.65 | 7.31 | 0.08 | 0.009 | 0.01 | <0.002 | <20 | 4 | 1.6 | 99.81 | 1109 | 2 | 0.7 | 10.3 | 15.5 |
| 6768 | Rock | 75.43 | 12.29 | 1.83 | 0.08 | 0.07 | 0.75 | 8.33 | 0.08 | 0.005 | <0.01 | <0.002 | <20 | 3 | 0.9 | 99.80 | 1164 | 2 | 0.7 | 3.9 | 14.2 |
| 6769 | Rock | 75.58 | 12.30 | 2.10 | 0.04 | 0.14 | 1.61 | 7.37 | 0.04 | 0.005 | 0.02 | <0.002 | <20 | 10 | 0.7 | 99.91 | 306 | 2 | 0.2 | 14.2 | 17.3 |
| 6771 | Rock | 57.68 | 16.80 | 6.36 | 2.83 | 7.31 | 2.68 | 2.12 | 0.69 | 0.196 | 0.10 | 0.004 | 21 | 18 | 2.9 | 99.68 | 1005 | 2 | 14.3 | 2.8 | 18.6 |
| 9004 | Rock | 75.69 | 12.57 | 1.85 | 0.13 | 0.11 | 0.40 | 7.03 | 0.05 | <0.001 | 0.01 | <0.002 | <20 | 4 | 2.0 | 99.85 | 898 | 2 | <0.2 | 5.7 | 14.7 |
| 9006 | Rock | 75.62 | 12.18 | 2.06 | 0.06 | 0.08 | 0.81 | 7.74 | 0.04 | <0.001 | <0.01 | <0.002 | <20 | 4 | 1.3 | 99.85 | 657 | 2 | <0.2 | 8.5 | 15.8 |
| 9010 | Rock | 57.61 | 17.00 | 6.58 | 4.65 | 5.90 | 2.81 | 2.09 | 0.62 | 0.169 | 0.09 | 0.035 | 93 | 18 | 2.1 | 99.63 | 1291 | 2 | 22.1 | 2.5 | 19.1 |
| 9013 | Rock | 77.86 | 10.96 | 1.41 | 0.09 | 0.08 | 0.71 | 7.76 | 0.04 | 0.021 | <0.01 | <0.002 | <20 | 9 | 0.9 | 99.87 | 565 | 2 | <0.2 | 8.7 | 14.9 |
| 9020 | Rock | 71.99 | 13.54 | 2.76 | 0.33 | 1.03 | 3.15 | 4.85 | 0.14 | 0.019 | 0.04 | <0.002 | <20 | 6 | 2.0 | 99.80 | 969 | 3 | 1.0 | 4.5 | 16.8 |
| 9024 | Rock | 74.04 | 12.91 | 2.50 | 0.20 | 0.32 | 2.35 | 5.26 | 0.10 | 0.018 | 0.04 | <0.002 | <20 | 5 | 2.1 | 99.80 | 833 | 4 | 0.6 | 4.3 | 15.9 |
| 9029 | Rock | 73.92 | 13.17 | 2.42 | 0.29 | 0.22 | 2.34 | 5.42 | 0.11 | 0.006 | 0.03 | <0.002 | <20 | 5 | 1.9 | 99.81 | 1083 | 1 | 0.7 | 5.4 | 14.7 |
| 9030 | Rock | 69.44 | 14.53 | 3.21 | 0.70 | 1.33 | 3.37 | 4.06 | 0.21 | 0.063 | 0.08 | <0.002 | <20 | 7 | 2.8 | 99.76 | 1037 | 3 | 2.6 | 6.7 | 18.2 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|------|----------------------------------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | Hf | Nb | Rb | Sn | Sr | Ta | Th | U | V | W | Zr | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb |
| | | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 1 | ppm 0.5 | ppm 0.1 | ppm 0.2 | ppm 0.1 | ppm 8 | ppm 0.5 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.02 | ppm 0.3 | ppm 0.05 | ppm 0.02 | ppm 0.05 | ppm 0.01 |
| 6702 | Rock | 4.2 | 8.6 | 330.3 | 3 | 96.9 | 1.0 | 15.7 | 2.7 | 39 | 3.9 | 128.8 | 30.8 | 35.3 | 63.0 | 8.19 | 28.6 | 5.26 | 0.92 | 4.70 | 0.84 |
| 6703 | Rock | 4.5 | 8.8 | 43.3 | 3 | 411.0 | 0.6 | 9.1 | 2.4 | 131 | 1.6 | 167.0 | 29.4 | 27.0 | 54.0 | 6.87 | 24.8 | 5.40 | 1.24 | 4.59 | 0.79 |
| 6707 | Rock | 5.5 | 9.7 | 501.6 | 3 | 60.8 | 0.8 | 14.6 | 2.5 | 34 | 4.6 | 185.6 | 24.2 | 38.0 | 70.0 | 8.92 | 31.6 | 5.67 | 1.10 | 4.66 | 0.76 |
| 6709 | Rock | 4.3 | 8.5 | 176.6 | 3 | 157.4 | 0.9 | 16.9 | 3.1 | 38 | 3.9 | 135.0 | 24.2 | 31.1 | 59.8 | 7.11 | 23.7 | 4.58 | 0.80 | 3.87 | 0.70 |
| 6715 | Rock | 5.0 | 9.0 | 37.2 | 2 | 666.5 | 0.6 | 7.7 | 1.9 | 137 | 1.4 | 197.1 | 23.1 | 26.8 | 55.7 | 6.92 | 25.5 | 5.13 | 1.44 | 4.27 | 0.75 |
| 6717 | Rock | 6.1 | 9.6 | 133.8 | 3 | 282.1 | 0.8 | 10.5 | 2.4 | 109 | 4.0 | 206.7 | 26.7 | 27.8 | 57.2 | 7.13 | 26.5 | 5.09 | 1.29 | 4.61 | 0.80 |
| 6733 | Rock | 3.6 | 9.0 | 366.1 | 3 | 52.4 | 0.7 | 12.6 | 2.6 | 50 | 3.0 | 110.7 | 23.7 | 27.9 | 57.3 | 7.14 | 26.2 | 5.15 | 0.96 | 4.33 | 0.74 |
| 6736 | Rock | 3.6 | 8.7 | 186.3 | 3 | 76.4 | 0.8 | 14.1 | 3.0 | 11 | 4.5 | 103.4 | 25.1 | 26.8 | 55.9 | 7.20 | 24.9 | 5.40 | 0.71 | 4.46 | 0.79 |
| 6740 | Rock | 3.8 | 9.8 | 193.1 | 4 | 138.4 | 0.8 | 14.9 | 2.7 | 12 | 1.8 | 102.0 | 27.6 | 21.5 | 51.7 | 5.83 | 20.7 | 4.98 | 0.70 | 4.48 | 0.82 |
| 6744 | Rock | 5.4 | 9.4 | 48.9 | 2 | 396.9 | 0.6 | 9.1 | 2.0 | 132 | 18.8 | 181.4 | 26.7 | 26.1 | 54.1 | 6.78 | 24.3 | 5.24 | 1.36 | 4.79 | 0.84 |
| 6748 | Rock | 4.8 | 8.9 | 213.9 | 4 | 80.3 | 0.6 | 14.8 | 2.6 | 35 | 2.1 | 163.7 | 26.6 | 40.8 | 82.4 | 10.01 | 36.2 | 6.23 | 0.95 | 5.58 | 0.91 |
| 6751 | Rock | 3.6 | 8.4 | 311.1 | 1 | 13.3 | 0.6 | 12.9 | 3.0 | 11 | 5.9 | 126.1 | 15.0 | 32.0 | 67.2 | 6.73 | 21.9 | 3.81 | 0.96 | 2.88 | 0.48 |
| 6752 | Rock | 5.1 | 7.8 | 73.0 | 2 | 599.1 | 0.5 | 10.8 | 1.8 | 107 | 1.1 | 188.1 | 22.2 | 40.2 | 79.6 | 9.55 | 33.9 | 5.92 | 1.58 | 4.62 | 0.74 |
| 6756 | Rock | 7.2 | 10.9 | 93.9 | 2 | 336.7 | 0.8 | 14.1 | 2.3 | 64 | 1.1 | 267.5 | 27.0 | 47.2 | 92.6 | 11.18 | 39.5 | 7.17 | 1.55 | 5.55 | 0.92 |
| 6757 | Rock | 4.2 | 9.1 | 186.6 | 3 | 48.9 | 0.7 | 13.9 | 2.5 | 16 | 2.0 | 134.0 | 30.8 | 37.4 | 74.6 | 9.18 | 31.6 | 6.45 | 0.89 | 5.68 | 0.98 |
| 6758 | Rock | 7.2 | 10.7 | 130.6 | 2 | 277.2 | 0.6 | 15.0 | 2.7 | 40 | 1.6 | 255.3 | 28.4 | 49.5 | 100.4 | 11.91 | 42.4 | 7.48 | 1.58 | 6.11 | 0.95 |
| 6761 | Rock | 4.1 | 9.0 | 279.7 | 3 | 28.7 | 0.8 | 14.9 | 4.2 | 10 | 1.8 | 104.6 | 20.3 | 20.0 | 44.2 | 5.52 | 19.9 | 4.60 | 0.55 | 3.88 | 0.68 |
| 6764 | Rock | 4.3 | 11.0 | 419.4 | 3 | 52.4 | 1.1 | 17.1 | 2.1 | 19 | 2.2 | 96.1 | 27.8 | 34.6 | 44.8 | 10.62 | 38.5 | 9.12 | 1.10 | 7.30 | 1.23 |
| 6767 | Rock | 3.4 | 8.4 | 270.1 | 2 | 40.8 | 0.8 | 14.1 | 2.0 | <8 | 4.7 | 89.9 | 20.3 | 31.5 | 44.2 | 8.86 | 32.2 | 7.02 | 1.01 | 5.23 | 0.80 |
| 6768 | Rock | 3.5 | 9.4 | 296.3 | 4 | 35.5 | 0.9 | 14.0 | 2.1 | <8 | 5.2 | 84.9 | 17.8 | 18.5 | 38.3 | 5.40 | 18.5 | 4.30 | 0.62 | 3.29 | 0.58 |
| 6769 | Rock | 4.5 | 16.7 | 330.9 | 5 | 10.7 | 1.4 | 16.3 | 1.7 | <8 | 3.5 | 72.5 | 9.6 | 11.7 | 18.6 | 2.31 | 6.2 | 1.31 | 0.11 | 1.27 | 0.30 |
| 6771 | Rock | 4.5 | 7.6 | 61.0 | 1 | 725.5 | 0.4 | 9.2 | 1.7 | 134 | 0.8 | 154.7 | 23.9 | 36.9 | 70.9 | 8.79 | 32.3 | 5.81 | 1.44 | 4.61 | 0.78 |
| 9004 | Rock | 4.1 | 12.8 | 263.8 | 3 | 21.8 | 1.3 | 16.6 | 1.8 | <8 | 0.8 | 77.6 | 20.4 | 15.8 | 35.5 | 4.95 | 17.5 | 4.73 | 0.34 | 3.69 | 0.66 |
| 9006 | Rock | 3.9 | 11.4 | 326.9 | 2 | 17.0 | 1.3 | 15.3 | 1.9 | <8 | 3.0 | 74.1 | 22.2 | 6.2 | 10.1 | 1.88 | 6.2 | 1.93 | 0.23 | 1.91 | 0.49 |
| 9010 | Rock | 7.0 | 8.6 | 75.1 | 1 | 560.8 | 0.5 | 10.8 | 2.0 | 115 | 1.2 | 216.2 | 23.3 | 36.2 | 72.6 | 8.67 | 31.1 | 5.92 | 1.58 | 4.63 | 0.77 |
| 9013 | Rock | 4.0 | 15.5 | 311.3 | 6 | 12.9 | 1.2 | 17.8 | 3.7 | <8 | 2.3 | 66.9 | 38.8 | 12.3 | 30.3 | 4.59 | 19.5 | 6.08 | 0.25 | 6.17 | 1.15 |
| 9020 | Rock | 4.9 | 10.3 | 200.7 | 4 | 151.5 | 1.0 | 15.0 | 2.7 | 10 | 1.2 | 133.6 | 32.4 | 31.7 | 63.1 | 7.93 | 28.0 | 6.08 | 0.95 | 5.46 | 0.97 |
| 9024 | Rock | 4.9 | 9.7 | 222.9 | 4 | 106.5 | 0.8 | 15.3 | 4.6 | <8 | 1.2 | 129.8 | 25.4 | 21.0 | 44.0 | 5.66 | 20.0 | 4.66 | 0.55 | 3.92 | 0.74 |
| 9029 | Rock | 4.3 | 9.9 | 212.2 | 4 | 75.6 | 0.9 | 15.0 | 2.8 | <8 | 2.2 | 107.2 | 24.4 | 19.5 | 39.6 | 5.42 | 21.4 | 4.35 | 0.52 | 4.13 | 0.71 |
| 9030 | Rock | 5.5 | 9.6 | 164.1 | 4 | 182.9 | 0.7 | 14.0 | 2.5 | 17 | 1.7 | 169.7 | 34.0 | 43.1 | 75.2 | 9.98 | 35.9 | 6.86 | 1.27 | 6.05 | 1.02 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 2A C/S | 2A C/S | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX |
|------|----------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------|------------|------------------|------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|
| | | Dy ppm 0.05 | Ho ppm 0.02 | Er ppm 0.03 | Tm ppm 0.01 | Yb ppm 0.05 | Lu ppm 0.01 | TOT/C % | TOT/S % | Mo ppm 0.1 | Cu ppm 0.1 | Pb ppm 0.1 | Zn ppm 1 | Ni ppm 0.1 | As ppm 0.5 | Cd ppm 0.1 | Sb ppm 0.1 | Bi ppm 0.1 | Ag ppm 0.1 | Au ppb 0.5 | Hg ppm 0.01 |
| 6702 | Rock | 4.77 | 1.02 | 3.01 | 0.48 | 2.93 | 0.48 | 0.14 | 0.09 | 0.4 | 1.0 | 10.7 | 9 | 1.3 | 18.6 | <0.1 | 2.1 | <0.1 | <0.1 | 1.4 | <0.01 |
| 6703 | Rock | 4.27 | 0.90 | 2.60 | 0.43 | 2.29 | 0.37 | 0.25 | <0.02 | 0.3 | 9.8 | 7.0 | 68 | 4.4 | 3.5 | <0.1 | 0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6707 | Rock | 4.04 | 0.86 | 2.55 | 0.42 | 2.59 | 0.39 | 0.04 | 0.04 | 0.3 | 1.4 | 6.0 | 8 | 1.3 | 7.7 | <0.1 | 3.0 | <0.1 | <0.1 | 0.6 | <0.01 |
| 6709 | Rock | 3.88 | 0.82 | 2.43 | 0.39 | 2.60 | 0.38 | 0.04 | <0.02 | 0.3 | 1.5 | 12.6 | 32 | 0.9 | 7.2 | <0.1 | 0.6 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6715 | Rock | 3.88 | 0.85 | 2.50 | 0.36 | 2.23 | 0.35 | 0.09 | <0.02 | 0.5 | 12.1 | 7.6 | 35 | 3.3 | 1.8 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.6 | 0.03 |
| 6717 | Rock | 4.31 | 0.94 | 2.70 | 0.44 | 2.60 | 0.40 | 0.07 | <0.02 | 0.8 | 4.0 | 9.7 | 66 | 1.5 | 11.3 | <0.1 | 0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.04 |
| 6733 | Rock | 4.12 | 0.85 | 2.29 | 0.40 | 2.32 | 0.34 | 0.05 | <0.02 | 0.4 | 8.2 | 11.4 | 63 | 5.0 | 2.9 | <0.1 | 0.8 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | 0.05 |
| 6736 | Rock | 4.40 | 0.94 | 2.76 | 0.43 | 2.66 | 0.40 | 0.02 | <0.02 | 0.3 | 2.8 | 9.4 | 34 | 0.7 | 4.2 | <0.1 | 0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.12 |
| 6740 | Rock | 4.52 | 1.00 | 3.00 | 0.46 | 2.79 | 0.43 | 0.02 | <0.02 | 0.3 | 1.3 | 10.5 | 14 | 0.5 | 1.8 | <0.1 | 0.2 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6744 | Rock | 4.68 | 0.95 | 2.83 | 0.46 | 2.60 | 0.38 | <0.02 | <0.02 | 0.5 | 12.5 | 5.0 | 28 | 1.2 | 19.0 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6748 | Rock | 4.72 | 0.92 | 2.97 | 0.45 | 2.99 | 0.44 | 0.25 | <0.02 | 0.5 | 3.5 | 18.7 | 34 | 0.8 | 1.0 | <0.1 | 0.4 | 0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6751 | Rock | 2.64 | 0.53 | 1.57 | 0.25 | 1.60 | 0.24 | 0.02 | <0.02 | 0.2 | 4.1 | 4.9 | 2 | 2.2 | 3.9 | <0.1 | 0.7 | <0.1 | 0.2 | <0.5 | 0.06 |
| 6752 | Rock | 3.88 | 0.83 | 2.30 | 0.37 | 2.12 | 0.33 | <0.02 | <0.02 | 0.6 | 18.3 | 2.7 | 33 | 62.6 | 23.4 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6756 | Rock | 4.80 | 0.98 | 2.87 | 0.45 | 2.69 | 0.41 | 0.12 | 0.02 | 0.7 | 14.0 | 3.1 | 50 | 5.7 | 11.0 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.02 |
| 6757 | Rock | 5.02 | 1.06 | 3.14 | 0.48 | 2.90 | 0.45 | 0.42 | <0.02 | 0.2 | 3.4 | 5.9 | 40 | 3.2 | 2.7 | 0.2 | 0.4 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.10 |
| 6758 | Rock | 5.20 | 1.06 | 3.01 | 0.45 | 2.58 | 0.42 | 0.20 | <0.02 | 0.4 | 12.4 | 3.2 | 54 | 4.5 | 1.9 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | 0.9 | <0.01 |
| 6761 | Rock | 3.71 | 0.76 | 2.22 | 0.37 | 2.10 | 0.33 | 0.05 | 0.03 | 0.3 | 5.0 | 83.0 | 54 | 0.8 | 1.0 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 3.9 | 0.03 |
| 6764 | Rock | 6.26 | 1.15 | 3.27 | 0.52 | 3.05 | 0.45 | 0.04 | 0.02 | 1.2 | 5.6 | 15.3 | 59 | 9.7 | 7.8 | <0.1 | 0.4 | <0.1 | <0.1 | 3.1 | <0.01 |
| 6767 | Rock | 4.21 | 0.76 | 2.13 | 0.38 | 2.28 | 0.34 | 0.03 | <0.02 | 0.3 | 3.5 | 10.9 | 31 | 1.9 | 5.2 | <0.1 | 1.3 | <0.1 | <0.1 | 1.6 | <0.01 |
| 6768 | Rock | 3.02 | 0.68 | 1.84 | 0.32 | 1.97 | 0.31 | <0.02 | <0.02 | 0.6 | 5.6 | 7.4 | 44 | 1.5 | 4.1 | <0.1 | 1.4 | 0.1 | <0.1 | 1.8 | <0.01 |
| 6769 | Rock | 2.08 | 0.46 | 1.38 | 0.24 | 1.73 | 0.25 | <0.02 | <0.02 | 0.5 | 3.1 | 15.2 | 35 | 0.9 | 8.7 | <0.1 | 2.3 | <0.1 | <0.1 | 2.5 | <0.01 |
| 6771 | Rock | 4.17 | 0.83 | 2.36 | 0.35 | 2.15 | 0.33 | 0.32 | <0.02 | 0.7 | 20.9 | 4.6 | 66 | 13.9 | 1.0 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 2.0 | <0.01 |
| 9004 | Rock | 3.58 | 0.79 | 2.35 | 0.43 | 2.93 | 0.45 | 0.06 | <0.02 | 0.2 | 2.7 | 8.9 | 6 | 0.7 | 1.2 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 2.9 | <0.01 |
| 9006 | Rock | 3.43 | 0.78 | 2.49 | 0.40 | 2.53 | 0.38 | <0.02 | <0.02 | 0.4 | 2.4 | 6.4 | 42 | 0.7 | 2.2 | <0.1 | 0.5 | <0.1 | <0.1 | 1.1 | <0.01 |
| 9010 | Rock | 4.22 | 0.82 | 2.36 | 0.39 | 2.36 | 0.36 | <0.02 | <0.02 | 0.6 | 19.2 | 4.6 | 34 | 86.3 | 14.0 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 2.1 | <0.01 |
| 9013 | Rock | 6.55 | 1.35 | 3.80 | 0.62 | 3.77 | 0.59 | <0.02 | <0.02 | 0.3 | 2.9 | 12.1 | 20 | 1.3 | 2.3 | <0.1 | 0.6 | <0.1 | <0.1 | 1.3 | 0.01 |
| 9020 | Rock | 5.38 | 1.13 | 3.05 | 0.50 | 2.89 | 0.47 | 0.16 | <0.02 | 0.4 | 2.7 | 15.1 | 35 | 2.7 | 3.2 | <0.1 | 0.1 | 0.3 | <0.1 | 1.4 | <0.01 |
| 9024 | Rock | 4.16 | 0.95 | 2.76 | 0.47 | 2.96 | 0.47 | <0.02 | 0.04 | 0.6 | 2.6 | 22.2 | 86 | 1.7 | 3.6 | 0.6 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | 1.1 | <0.01 |
| 9029 | Rock | 3.91 | 0.88 | 2.59 | 0.38 | 2.59 | 0.40 | <0.02 | <0.02 | 0.6 | 1.9 | 17.1 | 72 | 1.6 | 1.3 | 0.2 | <0.1 | 0.3 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 9030 | Rock | 5.69 | 1.08 | 3.00 | 0.48 | 3.01 | 0.46 | 0.17 | <0.02 | 0.4 | 4.7 | 20.0 | 168 | 2.8 | 2.2 | 0.2 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | 1.8 | <0.01 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 1DX TI ppm 0.1 | 1DX Se ppm 0.5 |
|------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 6702 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6703 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6707 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6709 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6715 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6717 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6733 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6736 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6740 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6744 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6748 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6751 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6752 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6756 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6757 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6758 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6761 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6764 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6767 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6768 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6769 | Rock | 0.2 | <0.5 |
| 6771 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9004 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9006 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 9010 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9013 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9020 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9024 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9029 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9030 | Rock | <0.1 | <0.5 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|---------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | TiO2 | P2O5 | MnO | Cr2O3 | Ni | Sc | LOI | Sum | Ba | Be | Co | Cs | Ga |
| | | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.002 | 20 | 1 | -5.1 | 0.01 | 1 | 1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| 9034 | Rock | 71.78 | 13.71 | 2.78 | 0.39 | 1.76 | 3.10 | 4.04 | 0.16 | 0.028 | 0.05 | <0.002 | <20 | 6 | 2.0 | 99.81 | 925 | 3 | 2.0 | 2.8 | 16.5 |
| 9035 | Rock | 73.75 | 13.33 | 2.60 | 0.22 | 0.45 | 2.88 | 4.67 | 0.13 | 0.026 | 0.03 | <0.002 | <20 | 6 | 1.8 | 99.83 | 860 | 2 | 1.0 | 7.1 | 15.5 |
| 9036 | Rock | 67.60 | 15.00 | 4.05 | 0.84 | 2.19 | 3.27 | 3.40 | 0.36 | 0.074 | 0.06 | <0.002 | <20 | 11 | 2.9 | 99.75 | 988 | 2 | 5.4 | 4.8 | 17.4 |
| 9039 | Rock | 53.91 | 15.44 | 9.70 | 5.92 | 7.36 | 4.06 | 0.44 | 1.86 | 0.222 | 0.12 | 0.023 | 120 | 15 | 0.7 | 99.76 | 176 | 1 | 35.5 | <0.1 | 20.9 |
| 9050 | Rock | 80.36 | 9.44 | 1.82 | 0.10 | 0.13 | 0.12 | 5.21 | 0.03 | 0.019 | <0.01 | <0.002 | <20 | 7 | 2.5 | 99.74 | 281 | <1 | 0.5 | 7.3 | 10.5 |
| 9067 | Rock | 75.21 | 12.32 | 1.40 | 0.05 | 0.27 | 0.97 | 8.47 | 0.06 | 0.013 | 0.01 | <0.002 | 32 | 8 | 1.0 | 99.82 | 951 | 2 | 0.6 | 7.9 | 16.7 |
| 9073 | Rock | 75.77 | 12.28 | 2.08 | 0.19 | 0.32 | 1.86 | 4.71 | 0.08 | 0.011 | <0.01 | <0.002 | <20 | 8 | 2.5 | 99.81 | 1066 | 3 | 0.5 | 8.9 | 16.9 |
| 9081 | Rock | 60.44 | 16.06 | 5.96 | 1.47 | 4.24 | 3.02 | 3.02 | 0.56 | 0.145 | 0.10 | 0.009 | 22 | 15 | 4.6 | 99.68 | 1540 | 2 | 13.0 | 9.9 | 19.5 |
| 9084 | Rock | 51.85 | 14.95 | 10.84 | 5.72 | 7.03 | 4.27 | 1.05 | 3.12 | 0.573 | 0.13 | 0.023 | 85 | 17 | 0.1 | 99.66 | 393 | 2 | 41.1 | 0.2 | 21.6 |
| 9084 D1 | Rock | 51.96 | 14.84 | 10.84 | 5.72 | 7.00 | 4.23 | 1.04 | 3.09 | 0.574 | 0.13 | 0.022 | 94 | 17 | 0.2 | 99.66 | 389 | 1 | 40.2 | 0.3 | 22.3 |
| 9085 | Rock | 59.21 | 16.68 | 6.42 | 2.14 | 4.66 | 2.68 | 2.83 | 0.66 | 0.157 | 0.10 | 0.009 | 24 | 19 | 4.2 | 99.72 | 871 | 2 | 16.8 | 5.9 | 19.4 |
| 9090 | Rock | 60.27 | 16.34 | 6.55 | 2.62 | 2.49 | 3.37 | 4.00 | 0.62 | 0.152 | 0.11 | 0.009 | 24 | 18 | 3.2 | 99.72 | 941 | 2 | 15.4 | 11.7 | 19.5 |
| 9091 | Rock | 81.45 | 8.99 | 2.50 | 0.23 | 0.15 | 1.84 | 2.78 | 0.12 | 0.035 | 0.02 | <0.002 | <20 | 4 | 1.7 | 99.83 | 1028 | 2 | 5.1 | 9.8 | 10.8 |
| 6742 | Rock | 69.44 | 14.59 | 2.17 | 0.45 | 0.08 | 0.48 | 11.41 | 0.42 | 0.028 | 0.01 | 0.005 | <20 | 10 | 0.6 | 99.71 | 1537 | 2 | 3.9 | 7.0 | 16.1 |
| 6750 | Rock | 61.43 | 17.20 | 5.95 | 1.39 | 5.25 | 2.90 | 2.51 | 0.62 | 0.167 | 0.07 | 0.004 | <20 | 16 | 2.3 | 99.75 | 787 | 2 | 12.3 | 2.9 | 20.2 |
| 9086 | Rock | 71.12 | 14.43 | 3.20 | 0.56 | 0.29 | 3.78 | 4.02 | 0.22 | 0.059 | 0.02 | 0.004 | <20 | 8 | 2.0 | 99.72 | 1462 | 2 | 2.2 | 3.2 | 17.4 |
| 9087 | Rock | 71.63 | 11.92 | 5.46 | 0.66 | 0.44 | 5.69 | 0.30 | 0.45 | 0.137 | 0.03 | 0.037 | 42 | 11 | 3.2 | 99.93 | 51 | 2 | 10.7 | 4.6 | 14.0 |
| 9092 | Rock | 52.60 | 14.60 | 10.70 | 5.58 | 6.93 | 4.02 | 1.28 | 3.05 | 0.557 | 0.13 | 0.023 | 89 | 16 | 0.2 | 99.67 | 382 | 2 | 40.0 | 0.2 | 20.6 |
| 9093 | Rock | 75.09 | 12.58 | 2.35 | 0.18 | 0.18 | 0.67 | 5.98 | 0.08 | 0.021 | <0.01 | <0.002 | <20 | 9 | 2.7 | 99.79 | 1480 | 2 | 1.1 | 14.1 | 16.6 |
| 9096 | Rock | 58.75 | 17.78 | 4.15 | 1.12 | 3.89 | 3.83 | 4.21 | 0.31 | 0.095 | 0.06 | <0.002 | <20 | 8 | 5.5 | 99.75 | 916 | 2 | 6.4 | 2.2 | 19.4 |
| 9100 | Rock | 54.28 | 17.73 | 7.35 | 2.49 | 5.27 | 3.14 | 2.06 | 0.88 | 0.228 | 0.15 | 0.008 | <20 | 21 | 6.1 | 99.74 | 577 | 2 | 18.4 | 3.7 | 23.9 |
| 10601 | Rock | 71.88 | 14.09 | 2.31 | 0.28 | 0.84 | 2.94 | 4.96 | 0.13 | 0.038 | 0.04 | <0.002 | <20 | 6 | 2.3 | 99.79 | 1137 | 2 | 1.8 | 8.7 | 16.7 |
| 10602 | Rock | 63.25 | 14.47 | 5.52 | 0.69 | 3.31 | 3.04 | 4.79 | 0.16 | 0.064 | 0.13 | <0.002 | <20 | 8 | 4.4 | 99.78 | 834 | 2 | 3.9 | 7.2 | 19.7 |
| 9077 | Rock | 59.30 | 13.42 | 2.73 | 0.48 | 7.56 | 2.62 | 5.11 | 0.13 | 0.039 | 0.11 | <0.002 | <20 | 5 | 8.3 | 99.78 | 1240 | 3 | 2.8 | 5.5 | 14.5 |
| 9078 | Rock | 55.99 | 17.97 | 7.34 | 2.41 | 2.62 | 5.57 | 1.90 | 1.02 | 0.280 | 0.11 | 0.011 | <20 | 24 | 4.6 | 99.77 | 542 | 3 | 11.9 | 12.2 | 28.9 |
| 9097 | Rock | 51.39 | 17.98 | 9.61 | 2.64 | 2.63 | 4.02 | 1.93 | 1.14 | 0.306 | 0.18 | 0.011 | <20 | 26 | 7.9 | 99.69 | 691 | 3 | 19.4 | 2.5 | 25.2 |
| 6628 | Rock | 70.42 | 13.82 | 3.81 | 0.43 | 1.93 | 2.56 | 3.79 | 0.27 | 0.065 | 0.04 | 0.002 | <20 | 6 | 2.7 | 99.82 | 877 | 2 | 3.8 | 5.3 | 16.1 |
| 6680 | Rock | 70.76 | 12.22 | 2.47 | 0.26 | 0.47 | 2.63 | 4.89 | 0.13 | 0.044 | 0.03 | <0.002 | <20 | 5 | 5.9 | 99.81 | 982 | 1 | 1.7 | 4.5 | 14.0 |
| 6695 | Rock | 69.70 | 13.25 | 3.29 | 0.37 | 0.52 | 3.46 | 4.22 | 0.26 | 0.069 | 0.02 | <0.002 | <20 | 5 | 4.6 | 99.79 | 1030 | 2 | 3.3 | 15.2 | 14.9 |
| 6639 | Rock | 72.99 | 13.55 | 1.59 | 0.05 | 0.10 | 0.69 | 9.99 | 0.16 | 0.022 | 0.01 | <0.002 | <20 | 5 | 0.6 | 99.78 | 1314 | 2 | 0.6 | 6.4 | 13.7 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|---------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Hf | Nb | Rb | Sn | Sr | Ta | Th | U | V | W | Zr | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb |
| | | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 8 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.3 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.01 |
| 9034 | Rock | 4.9 | 9.8 | 155.1 | 3 | 156.4 | 0.9 | 16.0 | 3.5 | 11 | 1.5 | 133.7 | 35.7 | 41.2 | 73.6 | 9.57 | 33.7 | 7.32 | 1.12 | 6.32 | 1.07 |
| 9035 | Rock | 4.4 | 10.4 | 195.7 | 4 | 131.2 | 0.9 | 15.3 | 2.4 | <8 | 1.3 | 118.8 | 26.0 | 31.6 | 43.8 | 7.77 | 27.6 | 5.49 | 0.83 | 4.74 | 0.83 |
| 9036 | Rock | 4.8 | 10.8 | 134.6 | 3 | 266.2 | 0.8 | 12.3 | 2.0 | 40 | 1.6 | 181.6 | 27.3 | 39.3 | 69.6 | 9.15 | 33.2 | 6.25 | 1.25 | 5.19 | 0.86 |
| 9039 | Rock | 2.8 | 10.8 | 8.2 | <1 | 576.1 | 0.6 | 1.4 | 0.7 | 147 | <0.5 | 94.7 | 14.4 | 10.0 | 18.9 | 2.89 | 12.4 | 3.89 | 1.59 | 4.11 | 0.63 |
| 9050 | Rock | 3.5 | 15.0 | 220.0 | 5 | 18.5 | 1.1 | 16.9 | 2.6 | 28 | 1.8 | 69.5 | 31.8 | 11.3 | 25.8 | 4.06 | 17.3 | 4.75 | 0.33 | 5.06 | 0.84 |
| 9067 | Rock | 3.4 | 12.7 | 378.8 | 6 | 36.6 | 1.0 | 19.2 | 3.4 | 25 | 3.5 | 99.1 | 27.7 | 28.4 | 60.9 | 6.87 | 24.2 | 4.82 | 0.47 | 4.43 | 0.80 |
| 9073 | Rock | 4.1 | 12.1 | 205.8 | 3 | 53.2 | 0.9 | 17.6 | 2.6 | 21 | 6.0 | 116.4 | 25.2 | 30.9 | 60.8 | 8.14 | 29.6 | 5.78 | 0.64 | 5.11 | 0.80 |
| 9081 | Rock | 6.0 | 12.2 | 124.0 | 3 | 350.2 | 0.7 | 15.0 | 2.5 | 110 | 1.8 | 211.9 | 26.3 | 39.6 | 75.1 | 9.10 | 32.9 | 5.94 | 1.45 | 5.19 | 0.80 |
| 9084 | Rock | 5.1 | 37.5 | 22.6 | 2 | 913.3 | 1.8 | 3.4 | 0.8 | 192 | 0.5 | 213.1 | 22.3 | 23.1 | 44.9 | 6.26 | 28.5 | 6.59 | 2.57 | 6.62 | 0.95 |
| 9084 D1 | Rock | 4.9 | 36.6 | 22.0 | 2 | 895.1 | 1.8 | 3.4 | 0.7 | 185 | 0.6 | 207.9 | 22.0 | 22.8 | 44.2 | 6.09 | 27.2 | 6.58 | 2.47 | 6.61 | 0.93 |
| 9085 | Rock | 5.4 | 12.3 | 107.3 | 3 | 393.8 | 0.6 | 13.1 | 2.7 | 127 | 2.3 | 216.1 | 26.1 | 36.8 | 68.5 | 8.56 | 32.2 | 5.66 | 1.43 | 5.06 | 0.78 |
| 9090 | Rock | 5.9 | 12.2 | 209.2 | 3 | 353.5 | 0.6 | 13.1 | 2.6 | 112 | 1.8 | 241.2 | 26.4 | 37.1 | 69.8 | 8.66 | 32.5 | 5.68 | 1.42 | 5.22 | 0.80 |
| 9091 | Rock | 2.9 | 6.7 | 99.2 | 2 | 68.9 | 0.3 | 9.3 | 1.9 | 19 | 1.3 | 98.9 | 15.8 | 28.1 | 53.9 | 6.62 | 24.6 | 4.08 | 0.81 | 3.44 | 0.51 |
| 6742 | Rock | 5.0 | 10.9 | 573.4 | 3 | 44.2 | 0.6 | 14.4 | 2.8 | 62 | 10.9 | 189.4 | 22.1 | 34.9 | 63.9 | 8.44 | 31.2 | 5.59 | 1.19 | 4.72 | 0.73 |
| 6750 | Rock | 8.2 | 13.5 | 106.7 | 3 | 345.8 | 0.7 | 14.2 | 2.9 | 73 | 2.7 | 326.5 | 28.5 | 47.1 | 88.5 | 10.99 | 41.2 | 7.16 | 1.52 | 6.09 | 0.92 |
| 9086 | Rock | 5.9 | 8.8 | 144.6 | 3 | 172.9 | 0.4 | 15.3 | 2.2 | 19 | 3.3 | 247.1 | 27.5 | 92.5 | 175.7 | 22.48 | 78.3 | 11.47 | 1.74 | 8.42 | 1.11 |
| 9087 | Rock | 3.8 | 6.9 | 14.3 | 2 | 107.8 | 0.3 | 10.0 | 2.0 | 59 | 4.3 | 152.9 | 17.3 | 31.2 | 57.8 | 7.27 | 26.5 | 4.50 | 1.18 | 4.00 | 0.58 |
| 9092 | Rock | 5.2 | 35.2 | 22.3 | 2 | 896.4 | 1.8 | 3.3 | 0.7 | 176 | 0.7 | 206.7 | 22.0 | 22.0 | 42.8 | 5.98 | 27.3 | 6.56 | 2.48 | 6.46 | 0.91 |
| 9093 | Rock | 3.6 | 11.8 | 276.0 | 3 | 36.1 | 0.8 | 16.3 | 2.1 | <8 | 4.4 | 116.6 | 18.0 | 31.3 | 55.2 | 8.16 | 29.8 | 5.83 | 0.66 | 4.90 | 0.72 |
| 9096 | Rock | 7.6 | 10.9 | 172.5 | 5 | 324.7 | 0.8 | 16.8 | 4.5 | 39 | 0.6 | 290.5 | 25.2 | 36.0 | 70.6 | 8.79 | 31.8 | 5.60 | 1.37 | 5.10 | 0.78 |
| 9100 | Rock | 7.3 | 13.4 | 79.6 | 2 | 298.6 | 0.7 | 9.8 | 2.5 | 143 | 1.5 | 313.7 | 30.4 | 37.7 | 70.1 | 9.21 | 35.2 | 6.42 | 1.56 | 5.93 | 0.91 |
| 10601 | Rock | 5.1 | 11.2 | 196.4 | 3 | 130.9 | 0.5 | 15.9 | 3.2 | 14 | 2.2 | 179.5 | 33.5 | 48.4 | 95.7 | 12.24 | 44.4 | 8.56 | 1.19 | 7.76 | 1.13 |
| 10602 | Rock | 5.5 | 10.4 | 195.3 | 3 | 127.4 | 0.7 | 16.0 | 3.8 | 20 | 1.8 | 179.8 | 30.4 | 30.3 | 59.0 | 7.63 | 29.1 | 5.62 | 0.91 | 5.49 | 0.92 |
| 9077 | Rock | 4.8 | 8.1 | 217.5 | 3 | 94.6 | 0.6 | 12.9 | 3.4 | 14 | 0.9 | 158.6 | 30.0 | 33.7 | 63.6 | 7.96 | 29.1 | 5.37 | 1.59 | 5.25 | 0.84 |
| 9078 | Rock | 6.5 | 15.6 | 145.4 | 6 | 114.7 | 0.6 | 10.6 | 7.2 | 145 | 3.5 | 250.5 | 32.2 | 31.0 | 63.1 | 8.67 | 33.8 | 6.66 | 1.18 | 6.57 | 1.03 |
| 9097 | Rock | 8.1 | 15.5 | 83.0 | 9 | 323.3 | 0.7 | 14.7 | 7.1 | 192 | 2.5 | 347.9 | 47.1 | 60.3 | 112.1 | 14.73 | 58.0 | 10.66 | 1.75 | 10.05 | 1.52 |
| 6628 | Rock | 3.8 | 10.2 | 160.2 | 4 | 176.3 | 0.7 | 16.3 | 2.8 | 25 | 4.7 | 142.9 | 21.2 | 33.0 | 64.4 | 7.49 | 26.5 | 4.60 | 0.82 | 3.87 | 0.62 |
| 6680 | Rock | 4.2 | 10.3 | 224.6 | 3 | 123.7 | 0.7 | 16.3 | 2.4 | 9 | 7.6 | 128.9 | 23.6 | 30.2 | 60.2 | 7.64 | 26.9 | 5.15 | 0.78 | 4.78 | 0.77 |
| 6695 | Rock | 5.9 | 12.2 | 155.9 | 3 | 195.8 | 0.9 | 19.2 | 3.8 | 20 | 1.8 | 211.0 | 24.8 | 34.5 | 68.0 | 8.42 | 31.2 | 5.50 | 0.79 | 4.85 | 0.74 |
| 6639 | Rock | 4.6 | 10.8 | 450.5 | 4 | 17.1 | 0.9 | 16.9 | 5.2 | 30 | 3.5 | 137.2 | 25.7 | 33.1 | 67.8 | 8.15 | 28.4 | 5.02 | 0.60 | 4.60 | 0.73 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 2A C/S | 2A C/S | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX |
|---------|----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| | | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | TOT/C | TOT/S | Mo | Cu | Pb | Zn | Ni | As | Cd | Sb | Bi | Ag | Au | Hg |
| | | ppm 0.05 | ppm 0.02 | ppm 0.03 | ppm 0.01 | ppm 0.05 | ppm 0.01 | % 0.02 | % 0.02 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 1 | ppm 0.1 | ppm 0.5 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppm 0.1 | ppb 0.5 | ppm 0.01 |
| 9034 | Rock | 5.80 | 1.25 | 3.41 | 0.56 | 3.24 | 0.48 | 0.17 | 0.02 | 0.4 | 6.1 | 18.7 | 42 | 2.8 | 3.0 | 0.1 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | 1.3 | <0.01 |
| 9035 | Rock | 5.08 | 0.98 | 2.74 | 0.46 | 2.82 | 0.44 | <0.02 | <0.02 | 0.4 | 2.5 | 15.3 | 41 | 1.2 | 2.6 | <0.1 | 0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.9 | <0.01 |
| 9036 | Rock | 4.93 | 1.00 | 2.70 | 0.43 | 2.74 | 0.41 | 0.15 | <0.02 | 0.3 | 4.7 | 8.0 | 59 | 7.9 | 4.1 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 9039 | Rock | 3.24 | 0.57 | 1.43 | 0.20 | 1.10 | 0.16 | 0.07 | 0.08 | 0.6 | 46.8 | 0.9 | 28 | 25.7 | 0.7 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.0 | <0.01 |
| 9050 | Rock | 5.00 | 1.13 | 3.35 | 0.55 | 3.30 | 0.54 | 0.04 | <0.02 | 0.5 | 4.3 | 23.3 | 362 | 0.9 | 3.6 | <0.1 | 0.3 | <0.1 | 0.1 | 1.0 | <0.01 |
| 9067 | Rock | 4.72 | 1.08 | 3.07 | 0.52 | 3.38 | 0.54 | 0.03 | 0.03 | 0.4 | 2.8 | 3.8 | 7 | 1.1 | 1.9 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.01 |
| 9073 | Rock | 4.48 | 0.96 | 2.66 | 0.44 | 2.59 | 0.43 | 0.16 | <0.02 | 0.3 | 5.6 | 8.0 | 10 | 1.5 | 1.6 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.5 | 0.03 |
| 9081 | Rock | 4.56 | 0.94 | 2.56 | 0.40 | 2.43 | 0.41 | 0.50 | <0.02 | 0.5 | 20.2 | 9.8 | 74 | 15.9 | 4.2 | <0.1 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.8 | <0.01 |
| 9084 | Rock | 4.54 | 0.88 | 1.97 | 0.28 | 1.52 | 0.24 | 0.02 | 0.04 | 0.4 | 30.0 | 0.4 | 84 | 73.1 | 1.4 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.8 | <0.01 |
| 9084 D1 | Rock | 4.55 | 0.87 | 1.88 | 0.27 | 1.53 | 0.22 | 0.03 | 0.05 | 0.5 | 30.3 | 0.4 | 86 | 73.5 | 1.2 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.7 | <0.01 |
| 9085 | Rock | 4.38 | 0.92 | 2.43 | 0.41 | 2.47 | 0.41 | 0.37 | <0.02 | 0.4 | 24.9 | 7.2 | 79 | 22.3 | 8.9 | <0.1 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.6 | <0.01 |
| 9090 | Rock | 4.35 | 0.94 | 2.54 | 0.40 | 2.50 | 0.42 | 0.06 | <0.02 | 0.4 | 20.6 | 11.5 | 89 | 20.9 | 12.9 | <0.1 | 0.2 | 0.4 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 9091 | Rock | 2.76 | 0.58 | 1.44 | 0.24 | 1.48 | 0.24 | 0.07 | <0.02 | 0.2 | 2.8 | 14.5 | 41 | 3.1 | 9.1 | <0.1 | 0.5 | <0.1 | <0.1 | 0.7 | 0.01 |
| 6742 | Rock | 3.86 | 0.83 | 2.24 | 0.36 | 2.18 | 0.37 | <0.02 | <0.02 | 0.3 | 10.9 | 24.3 | 20 | 4.7 | 1.5 | <0.1 | 0.4 | <0.1 | 0.4 | <0.5 | <0.01 |
| 6750 | Rock | 5.08 | 1.09 | 2.82 | 0.43 | 2.69 | 0.47 | 0.12 | <0.02 | 0.8 | 21.9 | 4.3 | 70 | 10.9 | 18.7 | <0.1 | 0.3 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.04 |
| 9086 | Rock | 5.43 | 1.01 | 2.51 | 0.40 | 2.36 | 0.39 | <0.02 | <0.02 | 0.2 | 1.0 | 2.4 | 27 | 9.0 | 7.6 | <0.1 | 0.3 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 9087 | Rock | 3.01 | 0.61 | 1.68 | 0.26 | 1.58 | 0.26 | 0.03 | <0.02 | 0.2 | 6.7 | 7.8 | 43 | 37.0 | 7.4 | <0.1 | 0.4 | <0.1 | <0.1 | 1.6 | <0.01 |
| 9092 | Rock | 4.55 | 0.85 | 1.82 | 0.27 | 1.45 | 0.22 | 0.05 | 0.03 | 0.6 | 24.7 | 0.4 | 74 | 99.0 | 0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 2.0 | <0.01 |
| 9093 | Rock | 3.86 | 0.73 | 1.96 | 0.35 | 2.21 | 0.36 | 0.11 | 0.05 | 0.4 | 2.2 | 7.3 | 18 | 0.8 | 3.3 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.7 | <0.01 |
| 9096 | Rock | 4.32 | 0.93 | 2.46 | 0.41 | 2.47 | 0.41 | 0.40 | 0.02 | 0.2 | 16.1 | 13.9 | 82 | 5.1 | 2.9 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.4 | <0.01 |
| 9100 | Rock | 5.00 | 1.09 | 2.91 | 0.48 | 2.77 | 0.46 | 0.48 | <0.02 | 0.7 | 18.6 | 10.3 | 94 | 17.8 | 18.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | <0.1 | 2.0 | <0.01 |
| 10601 | Rock | 5.76 | 1.18 | 3.19 | 0.52 | 3.26 | 0.52 | 0.13 | <0.02 | 1.4 | 4.7 | 17.4 | 28 | 2.7 | 21.9 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.08 |
| 10602 | Rock | 5.21 | 1.11 | 3.05 | 0.48 | 2.86 | 0.48 | 0.70 | 0.03 | 0.9 | 5.8 | 14.0 | 105 | 4.3 | 17.4 | <0.1 | 0.6 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.06 |
| 9077 | Rock | 4.98 | 1.05 | 2.83 | 0.46 | 2.79 | 0.47 | 1.76 | <0.02 | 0.8 | 5.1 | 13.9 | 33 | 3.2 | 1.5 | 0.1 | 0.8 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.02 |
| 9078 | Rock | 5.71 | 1.16 | 3.15 | 0.50 | 3.02 | 0.49 | 0.53 | 0.03 | 0.4 | 3.8 | 42.4 | 148 | 10.7 | 2.7 | <0.1 | 1.0 | <0.1 | 0.3 | <0.5 | <0.01 |
| 9097 | Rock | 8.32 | 1.71 | 4.34 | 0.66 | 3.89 | 0.63 | 0.25 | 0.04 | 0.7 | 15.1 | 11.7 | 140 | 16.8 | 2.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6628 | Rock | 3.51 | 0.76 | 2.01 | 0.35 | 2.09 | 0.35 | 0.11 | <0.02 | 0.5 | 5.7 | 11.9 | 23 | 1.3 | 3.1 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.01 |
| 6680 | Rock | 4.35 | 0.88 | 2.38 | 0.38 | 2.51 | 0.41 | <0.02 | <0.02 | 0.5 | 5.7 | 17.2 | 30 | 2.1 | 1.7 | <0.1 | 0.4 | 0.3 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6695 | Rock | 4.07 | 0.86 | 2.37 | 0.39 | 2.43 | 0.39 | 0.10 | 0.02 | 0.8 | 1.9 | 18.5 | 89 | 0.7 | 4.0 | <0.1 | 0.3 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | 0.01 |
| 6639 | Rock | 4.31 | 0.88 | 2.50 | 0.43 | 2.78 | 0.41 | <0.02 | <0.02 | 0.3 | 5.4 | 3.5 | 6 | 0.6 | 1.4 | <0.1 | 0.2 | 0.3 | <0.1 | <0.5 | 0.06 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 1DX TI ppm 0.1 | 1DX Se ppm 0.5 |
|---------|----------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 9034 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9035 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9036 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9039 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9050 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9067 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9073 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9081 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9084 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9084 D1 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9085 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9090 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9091 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6742 | Rock | 0.2 | <0.5 |
| 6750 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9086 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9087 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9092 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9093 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 9096 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9100 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 10601 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 10602 | Rock | 0.1 | 0.7 |
| 9077 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9078 | Rock | 0.3 | <0.5 |
| 9097 | Rock | <0.1 | 0.6 |
| 6628 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6680 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6695 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6639 | Rock | 0.2 | <0.5 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | TiO2 | P2O5 | MnO | Cr2O3 | Ni | Sc | LOI | Sum | Ba | Be | Co | Cs | Ga |
| | | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.002 | 20 | 1 | -5.1 | 0.01 | 1 | 1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| 10698 | Rock | 73.82 | 12.55 | 2.95 | 0.28 | 0.19 | 0.97 | 6.17 | 0.19 | 0.055 | 0.02 | <0.002 | <20 | 4 | 2.6 | 99.75 | 1037 | 3 | 3.2 | 24.0 | 12.7 |
| 10699 | Rock | 75.58 | 12.02 | 2.45 | 0.11 | 0.21 | 1.52 | 6.57 | 0.19 | 0.044 | 0.02 | 0.004 | <20 | 4 | 1.1 | 99.78 | 1291 | 1 | 2.4 | 11.1 | 9.6 |
| 10700 | Rock | 76.84 | 11.67 | 1.44 | 0.08 | 0.16 | 1.56 | 6.61 | 0.19 | 0.041 | 0.01 | <0.002 | <20 | 3 | 1.2 | 99.78 | 1674 | 2 | 0.9 | 8.2 | 6.2 |
| 6694 | Rock | 75.45 | 12.56 | 2.39 | 0.19 | 0.15 | 0.26 | 5.87 | 0.08 | 0.020 | 0.01 | <0.002 | <20 | 4 | 2.6 | 99.54 | 889 | 3 | 0.9 | 9.9 | 16.4 |
| 6640 | Rock | 71.80 | 13.49 | 2.26 | 0.10 | 0.08 | 0.52 | 9.92 | 0.15 | 0.037 | 0.02 | <0.002 | <20 | 4 | 1.4 | 99.75 | 1551 | 2 | 0.8 | 7.9 | 16.3 |
| 6690 | Rock | 72.89 | 12.99 | 3.20 | 0.47 | 1.36 | 2.67 | 3.93 | 0.25 | 0.077 | 0.05 | <0.002 | <20 | 5 | 1.9 | 99.79 | 1110 | 2 | 3.3 | 6.1 | 15.4 |
| 6631 | Rock | 72.99 | 13.08 | 3.02 | 0.34 | 0.80 | 2.64 | 4.98 | 0.16 | 0.048 | 0.03 | <0.002 | <20 | 4 | 1.8 | 99.83 | 760 | 2 | 2.6 | 12.4 | 14.8 |
| 6650 | Rock | 68.67 | 14.10 | 2.81 | 0.44 | 2.30 | 3.12 | 4.79 | 0.28 | 0.085 | 0.07 | <0.002 | <20 | 6 | 3.1 | 99.78 | 1123 | 3 | 3.0 | 7.1 | 16.4 |
| 6626 | Rock | 70.48 | 13.41 | 3.42 | 0.35 | 2.30 | 2.33 | 4.47 | 0.22 | 0.058 | 0.06 | <0.002 | <20 | 5 | 2.7 | 99.82 | 863 | 2 | 3.1 | 17.5 | 15.1 |
| 9051 | Rock | 59.03 | 15.85 | 6.02 | 2.79 | 6.97 | 2.61 | 2.29 | 0.59 | 0.168 | 0.09 | 0.021 | 53 | 17 | 3.2 | 99.66 | 1171 | 2 | 18.7 | 3.7 | 18.1 |
| 9056 | Rock | 70.54 | 13.13 | 2.83 | 0.06 | 0.07 | 0.27 | 10.46 | 0.35 | 0.039 | 0.01 | 0.023 | <20 | 10 | 1.9 | 99.68 | 1798 | <1 | 4.8 | 13.4 | 12.7 |
| 9066 | Rock | 72.36 | 13.82 | 1.62 | 0.18 | 0.12 | 0.64 | 6.91 | 0.21 | 0.057 | <0.01 | <0.002 | <20 | 6 | 3.9 | 99.78 | 1205 | <1 | 1.3 | 8.7 | 17.5 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Hf | Nb | Rb | Sn | Sr | Ta | Th | U | V | W | Zr | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb |
| | | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 8 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.3 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.01 |
| 10698 | Rock | 4.2 | 10.4 | 313.9 | 5 | 59.9 | 0.9 | 17.2 | 2.8 | 15 | 3.8 | 147.0 | 24.4 | 30.8 | 60.1 | 7.19 | 24.7 | 4.35 | 0.77 | 3.81 | 0.62 |
| 10699 | Rock | 3.8 | 9.9 | 250.4 | 4 | 100.6 | 0.8 | 17.9 | 3.5 | 16 | 5.1 | 136.8 | 31.6 | 40.4 | 39.8 | 8.27 | 29.3 | 4.97 | 0.88 | 4.96 | 0.80 |
| 10700 | Rock | 4.6 | 10.7 | 236.4 | 3 | 89.1 | 0.9 | 17.5 | 3.8 | <8 | 4.0 | 142.3 | 16.1 | 9.1 | 30.0 | 2.32 | 8.6 | 1.63 | 0.26 | 1.77 | 0.35 |
| 6694 | Rock | 3.9 | 11.7 | 284.2 | 5 | 27.7 | 1.0 | 16.6 | 2.7 | <8 | 3.0 | 114.7 | 22.4 | 23.5 | 47.1 | 6.40 | 24.8 | 5.06 | 0.64 | 4.88 | 0.77 |
| 6640 | Rock | 4.2 | 12.8 | 443.5 | 4 | 17.1 | 1.0 | 19.3 | 6.6 | 9 | 2.8 | 146.0 | 25.8 | 32.7 | 63.7 | 7.61 | 27.2 | 4.77 | 0.62 | 4.25 | 0.68 |
| 6690 | Rock | 5.5 | 12.1 | 117.0 | 4 | 199.8 | 0.9 | 18.7 | 3.9 | 11 | 2.7 | 216.2 | 24.9 | 34.0 | 67.5 | 8.18 | 30.3 | 5.42 | 0.79 | 4.56 | 0.72 |
| 6631 | Rock | 3.7 | 9.5 | 210.7 | 5 | 127.4 | 0.8 | 17.8 | 3.1 | 11 | 2.3 | 116.4 | 24.9 | 27.5 | 53.1 | 6.35 | 21.8 | 4.06 | 0.57 | 3.97 | 0.65 |
| 6650 | Rock | 5.5 | 13.6 | 184.8 | 4 | 193.5 | 0.9 | 20.2 | 4.8 | 17 | 1.9 | 227.3 | 28.4 | 37.5 | 73.6 | 9.11 | 33.9 | 5.75 | 0.92 | 5.29 | 0.83 |
| 6626 | Rock | 4.1 | 9.4 | 213.6 | 4 | 139.6 | 0.7 | 16.1 | 2.8 | 20 | 2.2 | 137.3 | 21.9 | 30.7 | 57.8 | 6.82 | 24.7 | 4.18 | 0.74 | 3.72 | 0.60 |
| 9051 | Rock | 5.1 | 8.7 | 71.1 | 2 | 666.0 | 0.4 | 11.2 | 2.2 | 116 | 22.5 | 198.2 | 22.2 | 41.5 | 79.6 | 9.34 | 35.0 | 5.75 | 1.48 | 4.74 | 0.71 |
| 9056 | Rock | 4.5 | 7.2 | 415.6 | 2 | 53.1 | 0.5 | 10.3 | 2.6 | 72 | 11.2 | 144.5 | 23.0 | 52.2 | 94.6 | 12.31 | 45.0 | 7.75 | 1.73 | 5.75 | 0.87 |
| 9066 | Rock | 4.5 | 9.8 | 271.7 | 4 | 36.9 | 0.8 | 14.2 | 3.6 | 38 | 2.6 | 128.9 | 36.2 | 32.5 | 66.9 | 7.97 | 30.4 | 6.11 | 1.04 | 5.93 | 0.99 |

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 2A C/S | 2A C/S | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX |
|-------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|-----|------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | TOT/C | TOT/S | Mo | Cu | Pb | Zn | Ni | As | Cd | Sb | Bi | Ag | Au | Hg |
| | | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppb | ppm |
| | | 0.05 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.01 |
| 10698 | Rock | 3.57 | 0.78 | 2.23 | 0.37 | 2.33 | 0.39 | 0.05 | <0.02 | 0.8 | 3.2 | 8.9 | 420 | 2.6 | 7.5 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | <0.1 | <0.5 | 0.03 |
| 10699 | Rock | 4.59 | 1.03 | 2.94 | 0.47 | 2.91 | 0.48 | 0.03 | <0.02 | 0.8 | 4.2 | 13.5 | 79 | 1.2 | 10.9 | <0.1 | 0.5 | 0.3 | 0.6 | <0.5 | 0.11 |
| 10700 | Rock | 2.37 | 0.59 | 1.79 | 0.32 | 2.04 | 0.36 | 0.03 | <0.02 | 0.4 | 2.4 | 6.5 | 40 | 0.8 | 1.8 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | <0.5 | 0.06 |
| 6694 | Rock | 4.17 | 0.89 | 2.47 | 0.43 | 2.57 | 0.43 | 0.03 | <0.02 | 0.5 | 39.4 | 305.7 | 1454 | 1.0 | 11.5 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6640 | Rock | 4.09 | 0.88 | 2.42 | 0.43 | 2.68 | 0.44 | <0.02 | <0.02 | 0.2 | 6.2 | 7.2 | 19 | 1.5 | 4.5 | <0.1 | 0.4 | 0.3 | <0.1 | <0.5 | 0.06 |
| 6690 | Rock | 4.23 | 0.85 | 2.46 | 0.39 | 2.40 | 0.39 | 0.02 | <0.02 | 1.5 | 7.9 | 8.0 | 49 | 1.1 | 8.2 | <0.1 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6631 | Rock | 3.93 | 0.85 | 2.41 | 0.41 | 2.65 | 0.44 | 0.04 | 0.03 | 0.4 | 10.5 | 10.3 | 18 | 0.9 | 4.0 | <0.1 | 0.6 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6650 | Rock | 4.67 | 0.95 | 2.53 | 0.42 | 2.62 | 0.44 | 0.34 | 0.03 | 0.4 | 4.9 | 18.4 | 48 | 0.7 | 2.0 | <0.1 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 6626 | Rock | 3.57 | 0.75 | 2.08 | 0.35 | 2.21 | 0.36 | 0.26 | <0.02 | 0.3 | 2.0 | 10.0 | 14 | 0.8 | 2.3 | <0.1 | 0.3 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | 0.01 |
| 9051 | Rock | 3.96 | 0.79 | 2.15 | 0.36 | 2.00 | 0.34 | 0.44 | <0.02 | 0.4 | 16.8 | 3.4 | 54 | 50.7 | 2.8 | <0.1 | 0.3 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| 9056 | Rock | 4.56 | 0.85 | 2.37 | 0.39 | 2.42 | 0.37 | <0.02 | <0.02 | 0.6 | 7.9 | 58.6 | 24 | 13.9 | 6.8 | 0.1 | 0.9 | 0.4 | 0.1 | <0.5 | 0.01 |
| 9066 | Rock | 5.62 | 1.18 | 3.49 | 0.54 | 3.30 | 0.51 | <0.02 | 0.02 | 0.3 | 3.7 | 4.1 | 13 | 1.9 | 0.6 | <0.1 | 0.2 | 0.2 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |

Client: Instituto de Recursos Minerales (INREM)

Call 64 No.3 Esp 120
 Universidad Nacional de la Plata
 La Plata Buenos Aires 1900 Argentina

Project: None Given

Report Date: July 07, 2008

Page: 4 of 4 **Part** 4

CERTIFICATE OF ANALYSIS

MEN08000620.1

| | Method | 1DX | 1DX |
|-------|---------|------|------|
| | Analyte | TI | Se |
| | Unit | ppm | ppm |
| | MDL | 0.1 | 0.5 |
| 10698 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 10699 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 10700 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6694 | Rock | 0.2 | <0.5 |
| 6640 | Rock | 0.2 | <0.5 |
| 6690 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 6631 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6650 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| 6626 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| 9051 | Rock | <0.1 | 0.6 |
| 9056 | Rock | 0.2 | <0.5 |
| 9066 | Rock | 0.1 | <0.5 |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|---------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | TiO2 | P2O5 | MnO | Cr2O3 | Ni | Sc | LOI | Sum | Ba | Be | Co | Cs | Ga |
| | | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.002 | 20 | 1 | -5.1 | 0.01 | 1 | 1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| 9081 | Rock | 60.44 | 16.06 | 5.96 | 1.47 | 4.24 | 3.02 | 3.02 | 0.56 | 0.145 | 0.10 | 0.009 | 22 | 15 | 4.6 | 99.68 | 1540 | 2 | 13.0 | 9.9 | 19.5 |
| Pulp Duplicates | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6709 | Rock | 70.87 | 14.45 | 3.07 | 0.29 | 1.31 | 2.64 | 4.82 | 0.22 | 0.048 | 0.02 | <0.002 | <20 | 5 | 2.0 | 99.78 | 999 | 2 | 2.8 | 40.4 | 15.8 |
| REP 6709 | QC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6761 | Rock | 75.74 | 12.68 | 1.56 | 0.10 | 0.15 | 0.74 | 7.03 | 0.10 | 0.021 | 0.01 | <0.002 | <20 | 4 | 1.7 | 99.82 | 828 | 2 | <0.2 | 9.8 | 15.8 |
| REP 6761 | QC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6764 | Rock | 72.38 | 12.92 | 2.71 | 0.15 | 0.14 | 0.81 | 9.42 | 0.13 | 0.012 | 0.01 | 0.007 | <20 | 8 | 1.1 | 99.82 | 819 | 2 | 3.1 | 8.9 | 15.2 |
| REP 6764 | QC | 72.16 | 12.98 | 2.73 | 0.16 | 0.14 | 0.82 | 9.53 | 0.13 | 0.005 | 0.01 | 0.007 | <20 | 8 | 1.1 | 99.81 | 826 | 2 | 3.4 | 9.2 | 14.4 |
| 9073 | Rock | 75.77 | 12.28 | 2.08 | 0.19 | 0.32 | 1.86 | 4.71 | 0.08 | 0.011 | <0.01 | <0.002 | <20 | 8 | 2.5 | 99.81 | 1066 | 3 | 0.5 | 8.9 | 16.9 |
| REP 9073 | QC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9100 | Rock | 54.28 | 17.73 | 7.35 | 2.49 | 5.27 | 3.14 | 2.06 | 0.88 | 0.228 | 0.15 | 0.008 | <20 | 21 | 6.1 | 99.74 | 577 | 2 | 18.4 | 3.7 | 23.9 |
| REP 9100 | QC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6628 | Rock | 70.42 | 13.82 | 3.81 | 0.43 | 1.93 | 2.56 | 3.79 | 0.27 | 0.065 | 0.04 | 0.002 | <20 | 6 | 2.7 | 99.82 | 877 | 2 | 3.8 | 5.3 | 16.1 |
| REP 6628 | QC | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10700 | Rock | 76.84 | 11.67 | 1.44 | 0.08 | 0.16 | 1.56 | 6.61 | 0.19 | 0.041 | 0.01 | <0.002 | <20 | 3 | 1.2 | 99.78 | 1674 | 2 | 0.9 | 8.2 | 6.2 |
| REP 10700 | QC | 76.64 | 11.67 | 1.55 | 0.07 | 0.16 | 1.57 | 6.65 | 0.19 | 0.041 | 0.01 | <0.002 | <20 | 2 | 1.2 | 99.73 | 1768 | 1 | 0.8 | 8.6 | 6.2 |
| Reference Materials | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|---------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Hf | Nb | Rb | Sn | Sr | Ta | Th | U | V | W | Zr | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb |
| | | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 8 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.3 | 0.05 | 0.02 | 0.05 |
| 9081 | Rock | 6.0 | 12.2 | 124.0 | 3 | 350.2 | 0.7 | 15.0 | 2.5 | 110 | 1.8 | 211.9 | 26.3 | 39.6 | 75.1 | 9.10 | 32.9 | 5.94 | 1.45 | 5.19 | 0.80 |
| Pulp Duplicates | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6709 | Rock | 4.3 | 8.5 | 176.6 | 3 | 157.4 | 0.9 | 16.9 | 3.1 | 38 | 3.9 | 135.0 | 24.2 | 31.1 | 59.8 | 7.11 | 23.7 | 4.58 | 0.80 | 3.87 | 0.70 |
| REP 6709 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6761 | Rock | 4.1 | 9.0 | 279.7 | 3 | 28.7 | 0.8 | 14.9 | 4.2 | 10 | 1.8 | 104.6 | 20.3 | 20.0 | 44.2 | 5.52 | 19.9 | 4.60 | 0.55 | 3.88 | 0.68 |
| REP 6761 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6764 | Rock | 4.3 | 11.0 | 419.4 | 3 | 52.4 | 1.1 | 17.1 | 2.1 | 19 | 2.2 | 96.1 | 27.8 | 34.6 | 44.8 | 10.62 | 38.5 | 9.12 | 1.10 | 7.30 | 1.23 |
| REP 6764 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9073 | Rock | 4.1 | 12.1 | 205.8 | 3 | 53.2 | 0.9 | 17.6 | 2.6 | 21 | 6.0 | 116.4 | 25.2 | 30.9 | 60.8 | 8.14 | 29.6 | 5.78 | 0.64 | 5.11 | 0.80 |
| REP 9073 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 9100 | Rock | 7.3 | 13.4 | 79.6 | 2 | 298.6 | 0.7 | 9.8 | 2.5 | 143 | 1.5 | 313.7 | 30.4 | 37.7 | 70.1 | 9.21 | 35.2 | 6.42 | 1.56 | 5.93 | 0.91 |
| REP 9100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6628 | Rock | 3.8 | 10.2 | 160.2 | 4 | 176.3 | 0.7 | 16.3 | 2.8 | 25 | 4.7 | 142.9 | 21.2 | 33.0 | 64.4 | 7.49 | 26.5 | 4.60 | 0.82 | 3.87 | 0.62 |
| REP 6628 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 10700 | Rock | 4.6 | 10.7 | 236.4 | 3 | 89.1 | 0.9 | 17.5 | 3.8 | <8 | 4.0 | 142.3 | 16.1 | 9.1 | 30.0 | 2.32 | 8.6 | 1.63 | 0.26 | 1.77 | 0.35 |
| REP 10700 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Reference Materials | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | Method Analyte Unit MDL | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 2A C/S | 2A C/S | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX | 1DX |
|---------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|------|-------|------|-----|------|------|------|------|------|------|-------|
| | | Dy | Ho | Er | Tm | Yb | Lu | TOT/C | TOT/S | Mo | Cu | Pb | Zn | Ni | As | Cd | Sb | Bi | Ag | Au |
| | | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppb |
| | | 0.05 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.05 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | 0.1 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.5 |
| 9081 | Rock | 4.56 | 0.94 | 2.56 | 0.40 | 2.43 | 0.41 | 0.50 | <0.02 | 0.5 | 20.2 | 9.8 | 74 | 15.9 | 4.2 | <0.1 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | 0.8 |
| Pulp Duplicates | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6709 | Rock | 3.88 | 0.82 | 2.43 | 0.39 | 2.60 | 0.38 | 0.04 | <0.02 | 0.3 | 1.5 | 12.6 | 32 | 0.9 | 7.2 | <0.1 | 0.6 | 0.2 | <0.1 | <0.5 |
| REP 6709 | QC | | | | | | | 0.04 | 0.02 | | | | | | | | | | | |
| 6761 | Rock | 3.71 | 0.76 | 2.22 | 0.37 | 2.10 | 0.33 | 0.05 | 0.03 | 0.3 | 5.0 | 83.0 | 54 | 0.8 | 1.0 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 3.9 |
| REP 6761 | QC | | | | | | | | | 0.5 | 6.4 | 90.5 | 60 | 1.0 | 1.0 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | 0.1 | 2.7 |
| 6764 | Rock | 6.26 | 1.15 | 3.27 | 0.52 | 3.05 | 0.45 | 0.04 | 0.02 | 1.2 | 5.6 | 15.3 | 59 | 9.7 | 7.8 | <0.1 | 0.4 | <0.1 | <0.1 | 3.1 |
| REP 6764 | QC | 6.13 | 1.21 | 3.15 | 0.50 | 3.21 | 0.47 | | | | | | | | | | | | | |
| 9073 | Rock | 4.48 | 0.96 | 2.66 | 0.44 | 2.59 | 0.43 | 0.16 | <0.02 | 0.3 | 5.6 | 8.0 | 10 | 1.5 | 1.6 | <0.1 | 0.1 | <0.1 | <0.1 | 1.5 |
| REP 9073 | QC | | | | | | | 0.16 | 0.03 | | | | | | | | | | | |
| 9100 | Rock | 5.00 | 1.09 | 2.91 | 0.48 | 2.77 | 0.46 | 0.48 | <0.02 | 0.7 | 18.6 | 10.3 | 94 | 17.8 | 18.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | <0.1 | 2.0 |
| REP 9100 | QC | | | | | | | 0.49 | <0.02 | | | | | | | | | | | |
| 6628 | Rock | 3.51 | 0.76 | 2.01 | 0.35 | 2.09 | 0.35 | 0.11 | <0.02 | 0.5 | 5.7 | 11.9 | 23 | 1.3 | 3.1 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 |
| REP 6628 | QC | | | | | | | | | 0.5 | 5.8 | 12.1 | 22 | 1.0 | 3.4 | <0.1 | 0.2 | <0.1 | <0.1 | <0.5 |
| 10700 | Rock | 2.37 | 0.59 | 1.79 | 0.32 | 2.04 | 0.36 | 0.03 | <0.02 | 0.4 | 2.4 | 6.5 | 40 | 0.8 | 1.8 | 0.1 | 0.2 | 0.4 | 0.6 | <0.5 |
| REP 10700 | QC | 2.53 | 0.60 | 1.86 | 0.33 | 2.19 | 0.39 | | | | | | | | | | | | | |
| Reference Materials | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | 3.15 | 4.26 | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | 3.16 | 4.38 | | | | | | | | | | | |
| STD CSC | Standard | | | | | | | 3.07 | 4.21 | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | 19.0 | 116.1 | 73.8 | 402 | 57.3 | 47.1 | 5.9 | 5.5 | 5.2 | 0.8 | 58.1 |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | 20.7 | 124.3 | 76.0 | 418 | 56.5 | 49.7 | 5.7 | 5.5 | 5.1 | 0.8 | 53.0 |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | 20.7 | 100.5 | 66.2 | 376 | 56.5 | 47.6 | 5.6 | 4.4 | 4.0 | 0.8 | 128.9 |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | 20.1 | 108.0 | 70.3 | 383 | 58.0 | 49.5 | 6.2 | 4.4 | 4.1 | 0.8 | 67.7 |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | 22.4 | 112.3 | 74.8 | 422 | 62.6 | 54.4 | 6.3 | 4.0 | 4.8 | 0.9 | 61.0 |
| STD DS7 | Standard | | | | | | | | | 22.5 | 120.1 | 71.6 | 430 | 62.7 | 55.3 | 6.4 | 4.1 | 4.7 | 0.9 | 69.4 |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | 0.16 | 17.40 | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | 0.15 | 17.40 | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A | Standard | | | | | | | 0.15 | 17.36 | | | | | | | | | | | |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | Method | 1DX | 1DX |
|---------------------|----------|------|------|
| Analyte | | TI | Se |
| Unit | | ppm | ppm |
| MDL | | 0.1 | 0.5 |
| 9081 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| Pulp Duplicates | | | |
| 6709 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| REP 6709 | QC | | |
| 6761 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| REP 6761 | QC | <0.1 | <0.5 |
| 6764 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| REP 6764 | QC | | |
| 9073 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| REP 9073 | QC | | |
| 9100 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| REP 9100 | QC | | |
| 6628 | Rock | <0.1 | <0.5 |
| REP 6628 | QC | 0.1 | <0.5 |
| 10700 | Rock | 0.1 | <0.5 |
| REP 10700 | QC | | |
| Reference Materials | | | |
| STD CSC | Standard | | |
| STD CSC | Standard | | |
| STD CSC | Standard | | |
| STD DS7 | Standard | 4.0 | 3.2 |
| STD DS7 | Standard | 4.0 | 3.6 |
| STD DS7 | Standard | 4.0 | 3.9 |
| STD DS7 | Standard | 3.8 | 4.1 |
| STD DS7 | Standard | 4.6 | 3.1 |
| STD DS7 | Standard | 4.6 | 3.8 |
| STD OREAS76A | Standard | | |
| STD OREAS76A | Standard | | |
| STD OREAS76A | Standard | | |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|-----------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | SiO2 | Al2O3 | Fe2O3 | MgO | CaO | Na2O | K2O | TiO2 | P2O5 | MnO | Cr2O3 | Ni | Sc | LOI | Sum | Ba | Be | Co | Cs | Ga |
| | | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | % | ppm | ppm | % | % | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.01 | 0.01 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.001 | 0.01 | 0.002 | 20 | 1 | -5.1 | 0.01 | 1 | 1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |
| STD SO-18 | Standard | 58.11 | 14.12 | 7.61 | 3.34 | 6.37 | 3.69 | 2.15 | 0.69 | 0.822 | 0.39 | 0.548 | 35 | 26 | 1.9 | 99.74 | 505 | <1 | 30.4 | 6.7 | 18.1 |
| STD SO-18 | Standard | 58.06 | 14.13 | 7.62 | 3.33 | 6.38 | 3.69 | 2.15 | 0.69 | 0.824 | 0.39 | 0.548 | 38 | 25 | 1.9 | 99.73 | 533 | <1 | 30.3 | 7.3 | 17.5 |
| STD SO-18 | Standard | 58.07 | 14.14 | 7.61 | 3.33 | 6.37 | 3.70 | 2.15 | 0.69 | 0.823 | 0.39 | 0.548 | 33 | 25 | 1.9 | 99.72 | 510 | 2 | 27.2 | 6.9 | 17.4 |
| STD SO-18 | Standard | 58.07 | 14.12 | 7.61 | 3.33 | 6.38 | 3.70 | 2.15 | 0.69 | 0.826 | 0.39 | 0.548 | 68 | 26 | 1.9 | 99.72 | 507 | <1 | 27.4 | 6.8 | 17.2 |
| STD SO-18 | Standard | 58.10 | 14.13 | 7.61 | 3.33 | 6.37 | 3.69 | 2.15 | 0.69 | 0.822 | 0.39 | 0.550 | 49 | 26 | 1.9 | 99.73 | 515 | <1 | 27.8 | 7.1 | 17.7 |
| STD SO-18 | Standard | 58.04 | 14.14 | 7.63 | 3.33 | 6.37 | 3.71 | 2.15 | 0.69 | 0.822 | 0.39 | 0.552 | 44 | 27 | 1.9 | 99.73 | 514 | <1 | 27.6 | 7.1 | 17.6 |
| STD DS7 Expected | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC Expected | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A Expected | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 Expected | | 58.47 | 14.23 | 7.67 | 3.35 | 6.42 | 3.71 | 2.17 | 0.69 | 0.83 | 0.39 | 0.55 | 44 | 25 | | | 514 | | 26.2 | 7.1 | 17.6 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.01 | <0.01 | <0.04 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.001 | <0.01 | <0.002 | <20 | <1 | 0.0 | <0.01 | <1 | <1 | <0.2 | <0.1 | <0.5 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.01 | <0.01 | <0.04 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.001 | <0.01 | <0.002 | <20 | <1 | 0.0 | <0.01 | <1 | <1 | <0.2 | <0.1 | <0.5 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.01 | <0.01 | <0.04 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.01 | <0.001 | <0.01 | <0.002 | <20 | <1 | 0.0 | <0.01 | <1 | <1 | <0.2 | <0.1 | <0.5 |
| Prep Wash | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PREP BLANK | Prep Blank | 97.80 | 0.36 | 1.43 | <0.01 | 0.02 | 0.04 | 0.17 | <0.01 | <0.001 | 0.02 | <0.002 | <20 | <1 | 0.2 | 100.02 | 5 | <1 | <0.2 | <0.1 | 1.3 |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B | 4A&4B |
|-----------------------|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Hf | Nb | Rb | Sn | Sr | Ta | Th | U | V | W | Zr | Y | La | Ce | Pr | Nd | Sm | Eu | Gd | Tb |
| | | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm | ppm |
| | | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 1 | 0.5 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 8 | 0.5 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.02 | 0.3 | 0.05 | 0.02 | 0.05 | 0.01 |
| STD SO-18 | Standard | 9.3 | 24.3 | 29.4 | 17 | 422.4 | 6.2 | 11.8 | 18.2 | 223 | 15.2 | 310.7 | 31.2 | 12.5 | 25.3 | 3.44 | 13.8 | 2.78 | 0.88 | 2.94 | 0.50 |
| STD SO-18 | Standard | 10.1 | 25.1 | 30.5 | 17 | 434.0 | 6.9 | 11.4 | 17.5 | 212 | 14.7 | 323.0 | 31.7 | 12.2 | 25.8 | 3.43 | 13.7 | 2.70 | 0.86 | 2.91 | 0.48 |
| STD SO-18 | Standard | 9.7 | 21.4 | 28.4 | 15 | 416.4 | 7.3 | 10.5 | 16.8 | 202 | 14.8 | 286.5 | 32.1 | 12.3 | 26.4 | 3.42 | 14.0 | 2.91 | 0.88 | 2.91 | 0.52 |
| STD SO-18 | Standard | 9.3 | 21.1 | 28.1 | 15 | 413.6 | 7.3 | 10.4 | 16.9 | 200 | 14.8 | 282.5 | 31.9 | 12.2 | 26.3 | 3.42 | 13.9 | 2.89 | 0.88 | 2.89 | 0.52 |
| STD SO-18 | Standard | 9.9 | 22.2 | 29.3 | 16 | 418.8 | 7.2 | 10.5 | 17.0 | 207 | 15.8 | 294.1 | 32.6 | 12.4 | 26.7 | 3.44 | 13.9 | 2.94 | 0.89 | 2.98 | 0.52 |
| STD SO-18 | Standard | 10.1 | 22.4 | 28.8 | 15 | 413.9 | 7.3 | 10.7 | 16.6 | 205 | 15.1 | 292.3 | 32.3 | 12.3 | 26.8 | 3.43 | 13.9 | 2.93 | 0.88 | 2.95 | 0.52 |
| STD DS7 Expected | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD CSC Expected | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A Expected | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 Expected | | 9.8 | 20.9 | 28.7 | 15 | 407.4 | 7.4 | 9.9 | 16.4 | 200 | 15.1 | 280 | 33 | 12.3 | 27.1 | 3.45 | 14 | 3 | 0.89 | 2.93 | 0.53 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <1 | <0.5 | <0.1 | <0.2 | <0.1 | <8 | <0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.02 | <0.3 | <0.05 | <0.02 | <0.05 | <0.01 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <1 | <0.5 | <0.1 | <0.2 | <0.1 | <8 | <0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.02 | <0.3 | <0.05 | <0.02 | <0.05 | <0.01 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <1 | <0.5 | <0.1 | <0.2 | <0.1 | <8 | <0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.02 | <0.3 | <0.05 | <0.02 | <0.05 | <0.01 |
| Prep Wash | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PREP BLANK | Prep Blank | <0.1 | 1.0 | 6.6 | <1 | 1.9 | <0.1 | <0.2 | <0.1 | 20 | <0.5 | 0.9 | 0.2 | <0.1 | 0.2 | 0.04 | 0.4 | <0.05 | <0.02 | 0.10 | 0.01 |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | | 4A&4B Dy ppm 0.05 | 4A&4B Ho ppm 0.02 | 4A&4B Er ppm 0.03 | 4A&4B Tm ppm 0.01 | 4A&4B Yb ppm 0.05 | 4A&4B Lu ppm 0.01 | 2A C/S TOT/C % | 2A C/S TOT/S % | 1DX Mo ppm 0.1 | 1DX Cu ppm 0.1 | 1DX Pb ppm 0.1 | 1DX Zn ppm 1 | 1DX Ni ppm 0.1 | 1DX As ppm 0.5 | 1DX Cd ppm 0.1 | 1DX Sb ppm 0.1 | 1DX Bi ppm 0.1 | 1DX Ag ppm 0.1 | 1DX Au ppb 0.5 | 1DX Hg ppm 0.01 |
|-----------------------|------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| STD SO-18 | Standard | 2.92 | 0.64 | 1.72 | 0.29 | 1.69 | 0.29 | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 | Standard | 3.00 | 0.63 | 1.81 | 0.28 | 1.75 | 0.29 | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 | Standard | 2.99 | 0.61 | 1.78 | 0.29 | 1.78 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 | Standard | 2.95 | 0.62 | 1.83 | 0.29 | 1.78 | 0.27 | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 | Standard | 3.03 | 0.64 | 1.83 | 0.29 | 1.80 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 | Standard | 3.01 | 0.63 | 1.79 | 0.29 | 1.79 | 0.28 | | | | | | | | | | | | | | |
| STD DS7 Expected | | | | | | | | | | 20.92 | 109 | 70.6 | 411 | 56 | 48.2 | 6.38 | 5.86 | 4.51 | 0.89 | 70 | 0.2 |
| STD CSC Expected | | | | | | | | 3.13 | 4.19 | | | | | | | | | | | | |
| STD OREAS76A Expected | | | | | | | | 0.16 | 18 | | | | | | | | | | | | |
| STD SO-18 Expected | | 3 | 0.62 | 1.84 | 0.29 | 1.79 | 0.27 | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | | | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <1 | <0.1 | <0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <1 | <0.1 | <0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| BLK | Blank | | | | | | | | | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <1 | <0.1 | <0.5 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |
| BLK | Blank | | | | | | | <0.02 | <0.02 | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.05 | <0.02 | <0.03 | <0.01 | <0.05 | <0.01 | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | <0.02 | <0.02 | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.05 | <0.02 | <0.03 | <0.01 | <0.05 | <0.01 | | | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | | | | | | | <0.02 | <0.02 | | | | | | | | | | | | |
| BLK | Blank | <0.05 | <0.02 | <0.03 | <0.01 | <0.05 | <0.01 | | | | | | | | | | | | | | |
| Prep Wash | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PREP BLANK | Prep Blank | 0.06 | <0.02 | <0.03 | <0.01 | <0.05 | 0.01 | <0.02 | <0.02 | 0.2 | 2.5 | 0.6 | <1 | 0.8 | 0.7 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.1 | <0.5 | <0.01 |

QUALITY CONTROL REPORT

MEN08000620.1

| | | 1DX TI ppm 0.1 | 1DX Se ppm 0.5 |
|-----------------------|------------|-------------------------|-------------------------|
| STD SO-18 | Standard | | |
| STD SO-18 | Standard | | |
| STD SO-18 | Standard | | |
| STD SO-18 | Standard | | |
| STD SO-18 | Standard | | |
| STD SO-18 | Standard | | |
| STD DS7 Expected | | 4.19 | 3.5 |
| STD CSC Expected | | | |
| STD OREAS76A Expected | | | |
| STD SO-18 Expected | | | |
| BLK | Blank | <0.1 | <0.5 |
| BLK | Blank | <0.1 | <0.5 |
| BLK | Blank | <0.1 | <0.5 |
| BLK | Blank | | |
| BLK | Blank | | |
| BLK | Blank | | |
| BLK | Blank | | |
| BLK | Blank | | |
| BLK | Blank | | |
| Prep Wash | | | |
| PREP BLANK | Prep Blank | <0.1 | <0.5 |

Anexo IV

Química Mineral ***Análisis por Microsonda Electrónica***

| | Ag | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Pirita | Arsenopirita |
|--------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|----------|-----------|---------|----------|----------|--------------|
| Label | MM2-d-16 | 8002c2.1 | MM24c4.5 | MM45c2.13 | MM45c2.4 | MM45c3.3 | MM45c4.2 | MM5-C-107 | MM5-D93 | MM5-D-97 | MM5-D-98 | MM2-A-41 |
| S W% | 0.6 | 54.10 | 53.88 | 52.89 | 52.03 | 52.62 | 52.42 | 53.84 | 53.70 | 53.21 | 54.20 | 20.9 |
| Fe W% | 0.1 | 46.41 | 46.20 | 46.55 | 45.43 | 46.21 | 45.28 | 44.99 | 45.01 | 44.64 | 45.70 | 34.5 |
| Cu W% | 0.1 | 0.07 | 0.17 | 0.21 | 0.35 | 0.16 | 0.39 | 1.27 | 1.23 | 1.14 | 0.20 | 0.0 |
| Zn W% | 0.1 | 0.06 | 0.10 | 0.09 | 0.00 | 0.24 | 0.00 | 0.12 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.1 |
| As W% | 0.3 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.18 | 0.00 | 0.36 | 0.17 | 0.00 | 0.40 | 0.00 | 42.3 |
| Se W% | 0.2 | 0.01 | 0.00 | 0.04 | 0.05 | 0.02 | 0.17 | 0.14 | 0.41 | 0.11 | 0.00 | 0.1 |
| Ag W% | 97.5 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.11 | 0.04 | 0.15 | 0.11 | 0.18 | 0.18 | 0.08 | 0.0 |
| Sb W% | 0.0 | 0.06 | 0.00 | 0.19 | 0.28 | 0.16 | 0.07 | 0.07 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.6 |
| Te W% | 0.2 | 0.02 | 0.07 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.05 | 0.01 | 0.00 | 0.09 | 0.02 | 0.1 |
| Au W% | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.13 | 0.30 | 0.0 |
| Hg W% | 0.1 | 0.18 | 0.03 | 0.04 | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.0 |
| Pb W% | 0.1 | 0.17 | 0.23 | 0.19 | 0.83 | 0.31 | 0.19 | 0.29 | 0.25 | 0.15 | 0.18 | 0.0 |
| Bi W% | 0.1 | 0.08 | 0.20 | 0.14 | 0.01 | 0.25 | 0.06 | 0.15 | 0.22 | 0.06 | 0.10 | 0.1 |
| Sum W% | 99.3 | 101.19 | 100.91 | 100.39 | 99.38 | 100.13 | 99.21 | 101.27 | 101.07 | 100.25 | 100.85 | 98.6 |

| S at | 0.02 | 1.69 | 1.68 | 1.65 | 1.62 | 1.64 | 1.64 | 1.68 | 1.68 | 1.66 | 1.69 | 0.65 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.00 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.81 | 0.83 | 0.81 | 0.81 | 0.81 | 0.80 | 0.82 | 0.62 |
| Cu at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.56 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.90 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 0.93 | 2.53 | 2.52 | 2.49 | 2.45 | 2.48 | 2.46 | 2.52 | 2.51 | 2.49 | 2.52 | 1.84 |

| | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Arsenopirita | Calcopirita |
|--------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Label | MM2-A-42 | MM2-A-43 | MM2-B-72 | MM2-B-73 | MM2-C-71 | MM2-c-73 | MM2-c-74 | MM2-C-85 | MM2-d-18 | MM24c3.3 |
| S W% | 21.7 | 20.5 | 20.7 | 21.2 | 21.8 | 20.4 | 20.8 | 21.4 | 21.4 | 35.03 |
| Fe W% | 34.2 | 33.9 | 33.0 | 33.7 | 33.8 | 33.8 | 34.6 | 34.6 | 33.1 | 29.59 |
| Cu W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.7 | 35.16 |
| Zn W% | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.3 | 0.07 |
| As W% | 40.0 | 40.7 | 42.2 | 40.6 | 39.1 | 42.4 | 41.0 | 39.7 | 42.8 | 0.00 |
| Se W% | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.00 |
| Ag W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 1.0 | 0.02 |
| Sb W% | 1.9 | 0.3 | 1.0 | 1.9 | 2.7 | 0.7 | 2.3 | 2.2 | 0.4 | 0.01 |
| Te W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.02 |
| Au W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.3 | 0.0 | 0.1 | 0.00 |
| Hg W% | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.01 |
| Pb W% | 0.0 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.12 |
| Bi W% | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.14 |
| Sum W% | 98.1 | 95.9 | 97.5 | 97.6 | 98.1 | 97.8 | 99.5 | 98.4 | 100.0 | 100.17 |

| S at | 0.68 | 0.64 | 0.65 | 0.66 | 0.68 | 0.64 | 0.65 | 0.67 | 0.67 | 1.09 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.61 | 0.61 | 0.59 | 0.60 | 0.61 | 0.60 | 0.62 | 0.62 | 0.59 | 0.53 |
| Cu at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.55 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.53 | 0.54 | 0.56 | 0.54 | 0.52 | 0.57 | 0.55 | 0.53 | 0.57 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Sb at | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.01 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.00 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.84 | 1.80 | 1.81 | 1.82 | 1.83 | 1.82 | 1.84 | 1.84 | 1.86 | 2.18 |

| | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita | Calcopirita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM2prueba | MM45c3.2 | MM45c4.3 | MM5-C-106 | MM5-D-96 | MM5-D-99 | MM5-E86 | MM5-E91 | 8002c2.10 | 8002c2.11 | 8002c2.2 |
| S W% | 34.8 | 34.12 | 34.00 | 35.15 | 35.00 | 35.29 | 35.18 | 35.56 | 34.99 | 33.80 | 34.96 |
| Fe W% | 29.8 | 30.00 | 30.03 | 29.35 | 29.15 | 29.64 | 25.93 | 29.62 | 29.44 | 27.44 | 30.06 |
| Cu W% | 34.6 | 34.39 | 34.35 | 34.20 | 34.37 | 34.25 | 30.58 | 34.33 | 33.89 | 32.02 | 34.68 |
| Zn W% | 0.0 | 0.10 | 0.06 | 0.19 | 0.02 | 0.14 | 6.89 | 0.17 | 0.04 | 0.08 | 0.07 |
| As W% | 0.0 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.06 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.00 |
| Se W% | 0.2 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag W% | 0.0 | 0.10 | 0.01 | 0.08 | 0.09 | 0.01 | 0.56 | 0.04 | 0.17 | 5.95 | 0.00 |
| Sb W% | 0.0 | 0.09 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.00 | 0.22 |
| Te W% | 0.1 | 0.05 | 0.03 | 0.08 | 0.12 | 0.03 | 0.00 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.05 |
| Au W% | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.34 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.2 | 0.08 | 0.02 | 0.04 | 0.06 | 0.02 | 0.14 | 0.00 | 0.06 | 0.06 | 0.08 |
| Pb W% | 0.1 | 0.16 | 0.15 | 0.14 | 0.10 | 0.04 | 0.17 | 0.03 | 0.14 | 0.25 | 0.06 |
| Bi W% | 0.1 | 0.05 | 0.07 | 0.15 | 0.12 | 0.09 | 0.12 | 0.14 | 0.11 | 0.09 | 0.05 |
| Sum W% | 99.9 | 99.15 | 98.78 | 99.44 | 99.12 | 99.91 | 99.58 | 100.00 | 99.01 | 99.71 | 100.21 |

| S at | 1.09 | 1.07 | 1.06 | 1.10 | 1.09 | 1.10 | 1.10 | 1.11 | 1.09 | 1.06 | 1.09 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.53 | 0.54 | 0.54 | 0.53 | 0.52 | 0.53 | 0.46 | 0.53 | 0.53 | 0.49 | 0.54 |
| Cu at | 0.55 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.54 | 0.48 | 0.54 | 0.53 | 0.50 | 0.55 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.00 |
| Sb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 2.17 | 2.15 | 2.14 | 2.17 | 2.16 | 2.18 | 2.16 | 2.19 | 2.16 | 2.11 | 2.18 |

| | Calcopirita | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena | Galena |
|--------|-------------|----------|----------|----------|---------|---------|----------|----------|----------|--------|-----------|-----------|
| Label | MM24c2.2 | MM2-1-39 | MM2-A-49 | MM2-B-64 | MM2c3.2 | MM2c5.3 | MM2-d-11 | MM2-d-12 | MM2-d-23 | MM45 | MM45c2.11 | MM45c2.14 |
| S W% | 34.87 | 13.3 | 13.4 | 13.1 | 13.03 | 13.71 | 13.4 | 13.0 | 12.9 | 13.18 | 13.72 | 13.39 |
| Fe W% | 29.64 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.30 | 0.00 |
| Cu W% | 34.59 | 0.1 | 0.8 | 0.7 | 0.47 | 0.05 | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.28 | 1.06 | 1.12 |
| Zn W% | 0.05 | 0.5 | 0.2 | 0.3 | 0.09 | 0.34 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.08 | 2.16 | 0.42 |
| As W% | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.03 | 0.00 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.00 | 0.10 | 0.09 |
| Se W% | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.01 | 0.01 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.06 | 0.00 | 0.08 |
| Ag W% | 0.11 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.62 | 0.43 | 0.2 | 0.3 | 0.3 | 0.24 | 1.24 | 0.49 |
| Sb W% | 0.05 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 1.59 | 0.25 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.33 | 0.65 | 0.48 |
| Te W% | 0.00 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.05 | 0.15 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.10 | 0.11 | 0.16 |
| Au W% | 0.00 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.11 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb W% | 0.00 | 85.5 | 86.1 | 85.9 | 87.01 | 87.00 | 84.8 | 85.1 | 86.0 | 85.15 | 79.93 | 84.30 |
| Bi W% | 0.04 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.08 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.08 | 0.15 | 0.00 |
| Sum W% | 99.46 | 99.9 | 101.2 | 100.7 | 102.90 | 102.01 | 99.2 | 99.5 | 100.1 | 99.50 | 99.42 | 100.53 |

| S at | 1.09 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.43 | 0.42 | 0.41 | 0.40 | 0.41 | 0.43 | 0.42 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.53 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Cu at | 0.54 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.02 |
| Zn at | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.01 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Sb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.42 | 0.42 | 0.41 | 0.41 | 0.42 | 0.41 | 0.39 | 0.41 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 2.17 | 0.84 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.86 | 0.84 | 0.83 | 0.83 | 0.83 | 0.89 | 0.86 |

| | Galena | Galena | Galena | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita |
|--------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Label | MM45c2.15 | MM5-A-110 | MM5-A-116 | MM2-1-37 | MM2-B-67 | MM2-C-79 | MM2-d-13 | MM2-d-17 | MM2-d-19 | MM5-A-109 | MM5-A-115 |
| S W% | 15.48 | 13.46 | 13.24 | 32.9 | 33.2 | 32.4 | 32.4 | 32.7 | 32.8 | 34.06 | 33.50 |
| Fe W% | 2.20 | 0.00 | 0.00 | 5.0 | 5.1 | 1.4 | 2.1 | 2.2 | 4.3 | 0.32 | 2.90 |
| Cu W% | 0.01 | 0.16 | 0.15 | 0.2 | 0.4 | 0.5 | 0.2 | 0.6 | 0.3 | 0.19 | 0.08 |
| Zn W% | 0.03 | 0.23 | 0.16 | 60.7 | 60.0 | 63.6 | 61.5 | 62.5 | 60.3 | 65.43 | 64.40 |
| As W% | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Se W% | 0.08 | 0.23 | 0.27 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.14 | 0.00 |
| Ag W% | 0.47 | 0.35 | 0.21 | 0.0 | 0.0 | 0.5 | 0.3 | 0.3 | 0.2 | 0.09 | 0.00 |
| Sb W% | 0.36 | 0.38 | 0.24 | 0.0 | 0.1 | 0.4 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.08 | 0.00 |
| Te W% | 0.07 | 0.12 | 0.11 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.05 | 0.06 |
| Au W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.2 | 0.2 | 0.5 | 0.5 | 0.0 | 0.2 | 1.07 | 0.17 |
| Pb W% | 79.58 | 87.26 | 85.18 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.04 | 0.00 |
| Bi W% | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.14 | 0.00 |
| Sum W% | 98.43 | 102.17 | 99.56 | 99.2 | 99.4 | 99.7 | 97.6 | 98.9 | 98.4 | 101.61 | 101.11 |

| | | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S at | 0.48 | 0.42 | 0.41 | 1.03 | 1.04 | 1.01 | 1.01 | 1.02 | 1.02 | 1.06 | 1.05 |
| Fe at | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.09 | 0.09 | 0.03 | 0.04 | 0.04 | 0.08 | 0.01 | 0.05 |
| Cu at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.93 | 0.92 | 0.97 | 0.94 | 0.95 | 0.92 | 1.00 | 0.98 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Pb at | 0.38 | 0.42 | 0.41 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 0.92 | 0.86 | 0.84 | 2.05 | 2.06 | 2.03 | 2.00 | 2.03 | 2.03 | 2.08 | 2.08 |

| | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Label | MM5-C-104 | MM5-D-101 | MM5-D-102 | MM5-E87 | MM5-E88 | 8002c2.2 | 8002c2.3 | 8002c3.1 | 8002c3.2 | 8002c4.6 | 8002c5.1 | 8002c5.2 |
| S W% | 33.28 | 33.42 | 33.37 | 33.66 | 32.74 | 32.99 | 33.51 | 33.28 | 33.51 | 33.32 | 34.04 | 33.83 |
| Fe W% | 2.72 | 2.37 | 2.65 | 2.57 | 0.27 | 2.59 | 2.69 | 3.01 | 2.63 | 1.93 | 2.56 | 2.45 |
| Cu W% | 0.07 | 0.18 | 0.61 | 0.04 | 0.29 | 0.06 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.04 |
| Zn W% | 64.04 | 63.78 | 61.98 | 63.80 | 63.80 | 64.26 | 63.61 | 63.45 | 63.91 | 64.58 | 63.84 | 63.70 |
| As W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se W% | 0.00 | 0.20 | 0.08 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.03 | 0.08 | 0.12 |
| Ag W% | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.27 | 0.03 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.02 |
| Sb W% | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.29 | 0.03 | 0.10 | 0.05 | 0.16 | 0.20 | 0.07 | 0.01 |
| Te W% | 0.02 | 0.03 | 0.06 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.08 | 0.04 |
| Au W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.11 | 0.00 | 0.26 | 0.03 | 0.43 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.06 | 0.19 |
| Pb W% | 0.00 | 0.10 | 0.25 | 0.15 | 0.17 | 0.01 | 0.00 | 0.13 | 0.05 | 0.23 | 0.00 | 0.03 |
| Bi W% | 0.08 | 0.14 | 0.08 | 0.00 | 0.08 | 0.03 | 0.00 | 0.16 | 0.16 | 0.19 | 0.08 | 0.17 |
| Sum W% | 100.32 | 100.30 | 99.38 | 100.32 | 98.34 | 100.01 | 99.96 | 100.18 | 100.57 | 100.49 | 100.85 | 100.59 |

| S at | 1.04 | 1.04 | 1.04 | 1.05 | 1.02 | 1.03 | 1.05 | 1.04 | 1.05 | 1.04 | 1.06 | 1.06 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.00 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.04 |
| Cu at | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Zn at | 0.98 | 0.98 | 0.95 | 0.98 | 0.98 | 0.98 | 0.97 | 0.97 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.97 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 2.07 | 2.07 | 2.05 | 2.07 | 2.02 | 2.06 | 2.07 | 2.07 | 2.07 | 2.07 | 2.09 | 2.08 |

| | Esfalerita | Esfalerita | Esfalerita | Bournonita | Bournonita | Freislebenita | Freislebenita | Freislebenita | Freislebenita | Miargirita | Miargirita |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|------------|
| Label | 8002c5.3 | 8002c5.4 | MM45c3.4 | MM5-A-113 | MM5-A-118 | MM2-C-83 | MM2-d-2 | MM2-d-24 | MM2-d-25 | MM24c4.1 | MM2-1-27 |
| S W% | 33.68 | 33.34 | 32.30 | 19.83 | 19.38 | 18.4 | 18.2 | 18.1 | 18.1 | 21.33 | 20.7 |
| Fe W% | 2.59 | 2.42 | 4.36 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.03 | 0.0 |
| Cu W% | 0.03 | 0.06 | 0.16 | 12.64 | 13.07 | 1.3 | 1.7 | 0.6 | 0.7 | 1.32 | 0.2 |
| Zn W% | 63.72 | 63.36 | 63.07 | 1.27 | 0.14 | 0.2 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.08 | 0.1 |
| As W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.14 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.20 | 0.1 |
| Se W% | 0.05 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.52 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.02 | 0.1 |
| Ag W% | 0.06 | 0.00 | 0.04 | 0.08 | 0.20 | 27.3 | 26.8 | 26.7 | 27.6 | 34.89 | 36.9 |
| Sb W% | 0.06 | 0.06 | 0.09 | 26.05 | 25.09 | 27.8 | 27.6 | 27.4 | 26.5 | 41.72 | 41.1 |
| Te W% | 0.07 | 0.04 | 0.02 | 0.16 | 0.45 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.05 | 0.1 |
| Au W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.36 | 0.00 | 0.0 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.00 | 0.1 |
| Hg W% | 0.01 | 0.11 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.0 |
| Pb W% | 0.12 | 0.18 | 0.03 | 42.05 | 41.86 | 23.5 | 24.1 | 26.3 | 26.3 | 0.18 | 0.0 |
| Bi W% | 0.07 | 0.05 | 0.02 | 0.12 | 0.11 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.05 | 0.1 |
| Sum W% | 100.44 | 99.60 | 100.17 | 102.56 | 100.97 | 98.8 | 99.5 | 99.9 | 99.8 | 99.87 | 99.6 |

| | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S at | 1.05 | 1.04 | 1.01 | 0.62 | 0.60 | 0.57 | 0.57 | 0.56 | 0.57 | 0.67 | 0.65 |
| Fe at | 0.05 | 0.04 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cu at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.21 | 0.02 | 0.03 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 |
| Zn at | 0.97 | 0.97 | 0.96 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.26 | 0.32 | 0.34 |
| Sb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.21 | 0.21 | 0.23 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.34 | 0.34 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.20 | 0.20 | 0.11 | 0.12 | 0.13 | 0.13 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 2.08 | 2.06 | 2.06 | 1.26 | 1.24 | 1.19 | 1.20 | 1.18 | 1.18 | 1.36 | 1.34 |

| | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita | Miargirita |
|--------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Label | MM2-1-28 | MM2-B-61 | MM2c2.1 | MM2c3.3 | MM2c3.4 | MM2c4.2 | MM2c5.1 | MM2-C-76 | MM2-C-77 | MM2-C-81 | MM2-d-22 | MM2-d-6 |
| S W% | 20.9 | 20.8 | 21.16 | 21.18 | 20.51 | 21.05 | 20.38 | 20.9 | 20.8 | 21.1 | 21.2 | 20.7 |
| Fe W% | 0.0 | 0.1 | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| Cu W% | 0.2 | 0.3 | 0.15 | 0.25 | 0.16 | 0.17 | 0.24 | 0.1 | 0.3 | 0.4 | 0.4 | 0.2 |
| Zn W% | 0.0 | 0.1 | 0.01 | 0.05 | 0.06 | 0.09 | 0.00 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.0 |
| As W% | 0.1 | 0.3 | 0.38 | 0.25 | 0.30 | 0.19 | 0.03 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |
| Se W% | 0.2 | 0.0 | 0.00 | 0.05 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.3 |
| Ag W% | 37.1 | 36.4 | 37.20 | 40.15 | 37.49 | 37.02 | 41.29 | 36.3 | 36.3 | 36.6 | 36.9 | 36.4 |
| Sb W% | 40.5 | 40.4 | 41.27 | 39.56 | 41.07 | 40.97 | 40.19 | 40.5 | 40.4 | 40.4 | 41.1 | 40.6 |
| Te W% | 0.1 | 0.1 | 0.03 | 0.13 | 0.00 | 0.14 | 0.09 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 |
| Au W% | 0.3 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 |
| Hg W% | 0.0 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Pb W% | 0.0 | 0.0 | 0.18 | 0.04 | 0.13 | 0.23 | 0.06 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| Bi W% | 0.0 | 0.0 | 0.06 | 0.00 | 0.03 | 0.00 | 0.07 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| Sum W% | 99.4 | 98.4 | 100.48 | 101.67 | 99.80 | 99.93 | 102.40 | 98.3 | 98.2 | 99.3 | 100.6 | 98.5 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S at | 0.65 | 0.65 | 0.66 | 0.66 | 0.64 | 0.66 | 0.64 | 0.65 | 0.65 | 0.66 | 0.66 | 0.65 |
| Fe at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cu at | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.37 | 0.35 | 0.34 | 0.38 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 | 0.34 |
| Sb at | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.33 | 0.34 | 0.34 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.33 | 0.34 | 0.33 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.34 | 1.33 | 1.35 | 1.37 | 1.33 | 1.35 | 1.36 | 1.33 | 1.33 | 1.34 | 1.36 | 1.33 |

| | Miargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita |
|--------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM2-d-7 | MM45c1.1 | MM45c2.16 | MM45c2.2 | MM45c2.6 | MM45c2.8 | MM2-1-29 | MM2-1-30 | MM2-1-36 | MM2-1-38 | MM2-50_1 | MM2-50_10 |
| S W% | 21.0 | 16.65 | 16.46 | 16.45 | 16.68 | 16.89 | 16.4 | 16.4 | 16.5 | 16.3 | 16.9 | 17.1 |
| Fe W% | 0.0 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.13 | 0.05 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| Cu W% | 0.2 | 0.08 | 0.13 | 0.15 | 0.12 | 0.14 | 0.2 | 0.3 | 0.6 | 0.4 | 0.3 | 0.1 |
| Zn W% | 0.0 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.07 | 0.00 | 0.1 | 0.1 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0.4 |
| As W% | 0.3 | 0.34 | 0.11 | 0.24 | 0.12 | 0.18 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.0 |
| Se W% | 0.0 | 0.07 | 0.06 | 0.10 | 0.00 | 0.10 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.2 |
| Ag W% | 37.0 | 62.17 | 56.47 | 59.05 | 59.39 | 59.66 | 61.0 | 61.0 | 60.7 | 60.7 | 61.2 | 59.0 |
| Sb W% | 39.8 | 19.93 | 24.14 | 22.13 | 21.61 | 21.93 | 21.6 | 20.8 | 20.7 | 21.1 | 21.8 | 22.7 |
| Te W% | 0.1 | 0.18 | 0.09 | 0.09 | 0.09 | 0.18 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 |
| Au W% | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Hg W% | 0.0 | 0.00 | 0.16 | 0.11 | 0.00 | 0.01 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Pb W% | 0.0 | 0.00 | 0.07 | 0.02 | 0.10 | 0.00 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| Bi W% | 0.0 | 0.12 | 0.00 | 0.05 | 0.17 | 0.19 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Sum W% | 98.4 | 99.60 | 97.72 | 98.41 | 98.48 | 99.32 | 99.7 | 98.9 | 99.4 | 99.1 | 100.9 | 99.6 |

| | | | | | | | | | | | | |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S at | 0.66 | 0.52 | 0.51 | 0.51 | 0.52 | 0.53 | 0.51 | 0.51 | 0.52 | 0.51 | 0.53 | 0.53 |
| Fe at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cu at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.34 | 0.58 | 0.52 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.57 | 0.57 | 0.56 | 0.56 | 0.57 | 0.55 |
| Sb at | 0.33 | 0.16 | 0.20 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.19 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.33 | 1.27 | 1.24 | 1.25 | 1.26 | 1.27 | 1.26 | 1.26 | 1.27 | 1.26 | 1.29 | 1.28 |

| | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM2-50_2 | MM2-50_3 | MM2-50_6 | MM2-50_7 | MM2-50_8 | MM2-50_9 | MM2-A-40 | MM2-A-47 | MM2-A-48 | MM2-B-63 | MM2-B-65 | MM2-C-75 |
| S W% | 16.9 | 16.6 | 17.4 | 16.9 | 17.2 | 17.1 | 17.0 | 16.8 | 17.0 | 17.1 | 17.1 | 16.5 |
| Fe W% | 0.0 | 0.1 | 0.9 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Cu W% | 0.4 | 0.4 | 4.0 | 0.4 | 0.4 | 0.3 | 0.3 | 0.8 | 0.3 | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| Zn W% | 0.2 | 0.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | 0.6 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 |
| As W% | 0.1 | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.2 | 0.3 |
| Se W% | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.0 |
| Ag W% | 61.4 | 62.1 | 53.5 | 59.6 | 59.3 | 59.8 | 58.5 | 59.1 | 57.8 | 58.8 | 61.5 | 60.2 |
| Sb W% | 21.6 | 21.8 | 23.3 | 22.5 | 22.4 | 22.2 | 22.9 | 22.3 | 24.2 | 23.0 | 21.7 | 22.6 |
| Te W% | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Au W% | 0.3 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.3 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.0 |
| Hg W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 |
| Pb W% | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 |
| Bi W% | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.0 |
| Sum W% | 101.2 | 102.1 | 100.3 | 99.9 | 100.5 | 100.8 | 99.1 | 100.0 | 100.2 | 100.3 | 101.6 | 100.0 |

| S at | 0.53 | 0.52 | 0.54 | 0.53 | 0.54 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.53 | 0.51 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Cu at | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.57 | 0.58 | 0.50 | 0.55 | 0.55 | 0.55 | 0.54 | 0.55 | 0.54 | 0.54 | 0.57 | 0.56 |
| Sb at | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.18 | 0.18 | 0.19 | 0.18 | 0.20 | 0.19 | 0.18 | 0.19 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.29 | 1.29 | 1.33 | 1.28 | 1.29 | 1.29 | 1.27 | 1.28 | 1.28 | 1.29 | 1.30 | 1.27 |

| | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Pirargirita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Label | MM2-C-82 | MM2-d-14 | MM2-d-5 | MM2-d-8 | MM24c1.2 | 8002c2.5 | 8002c2.6 | 8002c2.7 | 8002c2.8 | 8002c2.9 | 8002c3.10 | 8002c3.3 |
| S W% | 17.0 | 16.5 | 16.4 | 16.5 | 11.62 | 12.42 | 12.24 | 13.13 | 13.36 | 12.68 | 12.77 | 12.63 |
| Fe W% | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.70 | 0.21 | 0.34 | 0.37 | 0.48 | 0.37 | 0.47 | 0.05 |
| Cu W% | 0.6 | 0.3 | 0.3 | 0.4 | 6.62 | 3.21 | 3.87 | 5.19 | 4.99 | 4.40 | 4.85 | 3.64 |
| Zn W% | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.35 | 0.00 | 0.05 | 0.04 | 0.07 | 0.00 | 0.05 | 0.66 |
| As W% | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0.4 | 0.19 | 0.35 | 0.76 | 1.87 | 2.58 | 1.37 | 1.18 | 0.66 |
| Se W% | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.02 | 4.86 | 2.95 | 2.55 | 2.78 | 2.33 | 2.88 | 3.01 |
| Ag W% | 58.8 | 59.8 | 60.4 | 60.7 | 55.27 | 69.76 | 69.98 | 70.53 | 70.12 | 70.36 | 67.29 | 72.21 |
| Sb W% | 22.6 | 20.3 | 20.3 | 21.6 | 6.65 | 9.66 | 9.25 | 7.38 | 6.21 | 8.86 | 11.15 | 7.79 |
| Te W% | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.11 | 0.06 | 0.16 | 0.16 | 0.11 | 0.15 | 0.19 | 0.11 |
| Au W% | 0.3 | 0.0 | 0.2 | 0.4 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.07 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb W% | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.12 | 0.02 | 0.02 | 0.06 | 0.00 | 0.13 | 0.00 | 0.00 |
| Bi W% | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.06 | 0.00 | 0.02 | 0.02 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.02 |
| Sum W% | 100.1 | 97.4 | 98.2 | 100.2 | 81.78 | 100.56 | 99.65 | 101.31 | 100.75 | 100.68 | 100.85 | 100.78 |

| S at | 0.53 | 0.51 | 0.51 | 0.51 | 0.36 | 0.39 | 0.38 | 0.41 | 0.42 | 0.40 | 0.40 | 0.39 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 |
| Cu at | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.10 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.06 |
| Zn at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.03 | 0.02 | 0.02 | 0.01 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.06 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.04 |
| Ag at | 0.54 | 0.55 | 0.56 | 0.56 | 0.51 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.65 | 0.62 | 0.67 |
| Sb at | 0.19 | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.05 | 0.08 | 0.08 | 0.06 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.06 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.28 | 1.25 | 1.25 | 1.27 | 1.06 | 1.23 | 1.22 | 1.27 | 1.28 | 1.25 | 1.25 | 1.24 |

| | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita | Polibasita |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Label | 8002c3.4 | 8002c3.5 | 8002c3.7 | 8002c4.1 | 8002c4.2 | 8002c4.3 | 8002c4.4 | 8002c4.5 | 8002c5.5 | 8002c5.6 | 8002c5.7 | MM5-D-103 |
| S W% | 12.59 | 13.25 | 13.10 | 12.70 | 12.89 | 13.78 | 13.66 | 12.13 | 12.76 | 13.80 | 13.64 | 14.78 |
| Fe W% | 0.04 | 0.19 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.24 | 0.02 | 0.75 | 0.25 | 0.01 | 0.08 | 1.20 |
| Cu W% | 4.40 | 4.64 | 4.47 | 4.93 | 4.53 | 5.98 | 5.82 | 4.51 | 4.79 | 5.62 | 5.75 | 3.55 |
| Zn W% | 0.41 | 0.55 | 0.42 | 0.01 | 0.06 | 0.04 | 0.01 | 0.03 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.10 |
| As W% | 0.77 | 0.40 | 0.58 | 0.53 | 0.37 | 2.48 | 2.67 | 0.78 | 0.96 | 0.26 | 2.49 | 0.19 |
| Se W% | 2.90 | 0.53 | 2.98 | 2.94 | 2.92 | 2.92 | 3.05 | 3.84 | 2.88 | 0.02 | 1.83 | 0.00 |
| Ag W% | 69.90 | 69.77 | 69.51 | 69.01 | 71.24 | 68.99 | 70.03 | 69.71 | 68.43 | 70.29 | 68.01 | 74.32 |
| Sb W% | 9.19 | 10.72 | 9.01 | 10.19 | 9.34 | 6.68 | 6.19 | 8.30 | 9.94 | 9.33 | 8.84 | 9.12 |
| Te W% | 0.09 | 0.13 | 0.11 | 0.13 | 0.17 | 0.13 | 0.07 | 0.12 | 0.19 | 0.13 | 0.16 | 0.17 |
| Au W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.19 |
| Hg W% | 0.00 | 0.09 | 0.09 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.12 | 0.01 | 0.04 | 0.07 | 0.05 | 0.00 |
| Pb W% | 0.06 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 |
| Bi W% | 0.08 | 0.00 | 0.02 | 0.05 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.13 | 0.06 | 0.02 | 0.00 |
| Sum W% | 100.43 | 100.27 | 100.38 | 100.49 | 101.53 | 101.36 | 101.65 | 100.21 | 100.40 | 99.59 | 100.91 | 103.61 |

| | | | | | | | | | | | | |
|---------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| S at | 0.39 | 0.41 | 0.41 | 0.40 | 0.40 | 0.43 | 0.43 | 0.38 | 0.40 | 0.43 | 0.43 | 0.46 |
| Fe at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.02 |
| Cu at | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.09 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 0.09 | 0.09 | 0.06 |
| Zn at | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| As at | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.04 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| Se at | 0.04 | 0.01 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.05 | 0.04 | 0.00 | 0.02 | 0.00 |
| Ag at | 0.65 | 0.65 | 0.64 | 0.64 | 0.66 | 0.64 | 0.65 | 0.65 | 0.63 | 0.65 | 0.63 | 0.69 |
| Sb at | 0.08 | 0.09 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.05 | 0.05 | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.24 | 1.25 | 1.25 | 1.24 | 1.25 | 1.30 | 1.29 | 1.24 | 1.25 | 1.25 | 1.28 | 1.31 |

| | Polibasita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita |
|--------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | 8002c3.9 | MM24c1.1 | MM24c1.3 | MM24c1.4 | MM24c2.1 | MM24c2.3 | MM24c2.4 | MM24c3.1 | MM24c3.2 | MM24c4.2 | MM24c4.3 |
| S W% | 14.20 | 23.31 | 23.37 | 23.21 | 22.98 | 23.09 | 22.61 | 23.10 | 23.10 | 22.57 | 22.76 |
| Fe W% | 0.17 | 4.21 | 4.35 | 4.53 | 1.98 | 1.57 | 2.14 | 1.85 | 3.96 | 3.15 | 2.29 |
| Cu W% | 4.99 | 26.73 | 28.36 | 28.05 | 24.86 | 25.19 | 24.94 | 25.50 | 25.76 | 26.45 | 24.31 |
| Zn W% | 0.09 | 2.38 | 2.25 | 2.18 | 4.70 | 5.23 | 4.56 | 5.01 | 2.58 | 2.18 | 4.61 |
| As W% | 1.33 | 0.27 | 0.16 | 0.27 | 0.47 | 0.76 | 0.60 | 0.49 | 0.70 | 0.41 | 0.72 |
| Se W% | 3.12 | 0.07 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag W% | 58.18 | 15.91 | 13.70 | 13.70 | 17.73 | 18.07 | 17.59 | 17.75 | 17.35 | 14.42 | 18.32 |
| Sb W% | 9.25 | 28.37 | 28.92 | 28.77 | 26.71 | 26.51 | 27.09 | 26.98 | 27.02 | 27.59 | 27.34 |
| Te W% | 0.15 | 0.03 | 0.07 | 0.00 | 0.06 | 0.01 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.03 | 0.04 |
| Au W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.10 | 0.50 | 0.64 | 0.02 | 0.01 | 2.05 | 0.00 |
| Pb W% | 0.00 | 0.16 | 0.12 | 0.00 | 0.12 | 0.05 | 0.10 | 0.14 | 0.00 | 0.23 | 0.05 |
| Bi W% | 0.00 | 0.01 | 0.09 | 0.01 | 0.03 | 0.18 | 0.01 | 0.21 | 0.08 | 0.11 | 0.07 |
| Sum W% | 91.48 | 101.47 | 101.39 | 100.76 | 99.75 | 101.17 | 100.35 | 101.12 | 100.65 | 99.19 | 100.52 |

| S at | 0.44 | 0.73 | 0.73 | 0.72 | 0.72 | 0.72 | 0.71 | 0.72 | 0.72 | 0.70 | 0.71 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.00 | 0.08 | 0.08 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.07 | 0.06 | 0.04 |
| Cu at | 0.08 | 0.42 | 0.45 | 0.44 | 0.39 | 0.40 | 0.39 | 0.40 | 0.41 | 0.42 | 0.38 |
| Zn at | 0.00 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.08 | 0.04 | 0.03 | 0.07 |
| As at | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 | 0.01 |
| Se at | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.54 | 0.15 | 0.13 | 0.13 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.16 | 0.13 | 0.17 |
| Sb at | 0.08 | 0.23 | 0.24 | 0.24 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.22 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.20 | 1.65 | 1.66 | 1.65 | 1.61 | 1.62 | 1.60 | 1.63 | 1.63 | 1.59 | 1.61 |

| | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM24c4.4 | MM2-1-31 | MM2-1-32 | MM2-1-33 | MM2-1-34 | MM2-1-35 | MM2-2-84 | MM2-50_4 | MM2-50_5 | MM2-A-44 | MM2-A-45 |
| S W% | 23.04 | 20.1 | 19.7 | 21.3 | 22.1 | 21.8 | 20.7 | 21.2 | 21.3 | 21.6 | 22.6 |
| Fe W% | 2.97 | 2.1 | 2.9 | 1.6 | 2.7 | 2.5 | 3.6 | 3.2 | 2.4 | 3.7 | 3.0 |
| Cu W% | 24.56 | 14.1 | 13.9 | 18.5 | 20.4 | 20.3 | 17.3 | 15.3 | 13.7 | 19.4 | 23.6 |
| Zn W% | 3.73 | 4.2 | 3.4 | 5.2 | 3.8 | 4.2 | 2.6 | 5.0 | 9.3 | 2.5 | 3.5 |
| As W% | 1.13 | 0.2 | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| Se W% | 0.00 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.4 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.2 |
| Ag W% | 18.45 | 33.5 | 33.1 | 26.9 | 24.0 | 24.3 | 29.0 | 29.2 | 28.9 | 25.5 | 19.2 |
| Sb W% | 25.98 | 25.8 | 25.4 | 26.6 | 27.0 | 26.8 | 26.2 | 25.3 | 23.2 | 26.5 | 27.1 |
| Te W% | 0.04 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Au W% | 0.00 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.3 | 0.2 |
| Hg W% | 0.07 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |
| Pb W% | 0.12 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.0 |
| Bi W% | 0.15 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 |
| Sum W% | 100.24 | 100.3 | 99.1 | 100.6 | 100.7 | 100.5 | 100.0 | 99.7 | 99.5 | 99.8 | 99.4 |

| S at | 0.72 | 0.63 | 0.62 | 0.67 | 0.69 | 0.68 | 0.65 | 0.66 | 0.67 | 0.67 | 0.70 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.03 | 0.05 | 0.04 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.07 | 0.05 |
| Cu at | 0.39 | 0.22 | 0.22 | 0.29 | 0.32 | 0.32 | 0.27 | 0.24 | 0.22 | 0.31 | 0.37 |
| Zn at | 0.06 | 0.06 | 0.05 | 0.08 | 0.06 | 0.06 | 0.04 | 0.08 | 0.14 | 0.04 | 0.05 |
| As at | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.17 | 0.31 | 0.31 | 0.25 | 0.22 | 0.22 | 0.27 | 0.27 | 0.27 | 0.24 | 0.18 |
| Sb at | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.21 | 0.19 | 0.22 | 0.22 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.62 | 1.48 | 1.46 | 1.54 | 1.57 | 1.56 | 1.51 | 1.52 | 1.53 | 1.54 | 1.59 |

| | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM2-A-46 | MM2-B-69 | MM2-B-60 | MM2-B-62 | MM2-B-66 | MM2-B-68 | MM2-B-70 | MM2c2.2 | MM2c3.1 | MM2c4.1 | MM2c5.2 |
| S W% | 20.3 | 22.6 | 21.1 | 20.4 | 20.4 | 20.2 | 22.9 | 20.43 | 20.58 | 20.35 | 20.40 |
| Fe W% | 2.9 | 2.9 | 2.2 | 2.5 | 2.6 | 3.0 | 2.8 | 3.48 | 4.59 | 2.24 | 3.17 |
| Cu W% | 15.0 | 23.3 | 17.9 | 15.8 | 14.3 | 14.7 | 22.8 | 15.58 | 15.57 | 14.91 | 13.85 |
| Zn W% | 3.3 | 3.9 | 4.5 | 4.0 | 4.3 | 3.1 | 3.7 | 2.59 | 1.19 | 4.05 | 3.21 |
| As W% | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.25 | 0.09 | 0.13 | 0.22 |
| Se W% | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.3 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag W% | 31.3 | 20.8 | 27.8 | 30.4 | 33.0 | 32.4 | 20.7 | 30.77 | 32.41 | 32.05 | 33.62 |
| Sb W% | 26.2 | 27.4 | 26.1 | 26.0 | 25.8 | 25.6 | 27.7 | 26.06 | 26.15 | 26.40 | 26.05 |
| Te W% | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.08 | 0.11 | 0.05 | 0.01 |
| Au W% | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.0 | 0.00 | 0.01 | 0.11 | 0.00 |
| Pb W% | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.02 | 0.15 | 0.10 | 0.02 |
| Bi W% | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.06 | 0.03 | 0.02 | 0.00 |
| Sum W% | 99.4 | 101.2 | 100.0 | 99.9 | 100.8 | 99.4 | 100.9 | 99.31 | 100.87 | 100.40 | 100.57 |

| S at | 0.63 | 0.71 | 0.66 | 0.64 | 0.64 | 0.63 | 0.71 | 0.64 | 0.64 | 0.64 | 0.64 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.05 | 0.05 | 0.04 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.06 | 0.08 | 0.04 | 0.06 |
| Cu at | 0.24 | 0.37 | 0.28 | 0.25 | 0.23 | 0.23 | 0.36 | 0.25 | 0.25 | 0.23 | 0.22 |
| Zn at | 0.05 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.05 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 0.06 | 0.05 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.29 | 0.19 | 0.26 | 0.28 | 0.31 | 0.30 | 0.19 | 0.29 | 0.30 | 0.30 | 0.31 |
| Sb at | 0.22 | 0.23 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.23 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.21 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.48 | 1.60 | 1.52 | 1.49 | 1.49 | 1.48 | 1.60 | 1.49 | 1.51 | 1.49 | 1.49 |

| | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM2-C-78 | MM2-C-80 | MM2-d-1 | MM2-d-10 | MM2-d-20 | MM2-d-21 | MM2-d-26 | MM2-d-3 | MM2-d-4 | MM2-d-9 | MM45c1.2 |
| S W% | 19.8 | 19.9 | 19.8 | 19.8 | 19.9 | 19.5 | 20.1 | 20.4 | 19.4 | 19.9 | 20.26 |
| Fe W% | 2.4 | 2.0 | 2.1 | 2.1 | 2.5 | 2.3 | 2.0 | 2.3 | 2.4 | 2.0 | 4.33 |
| Cu W% | 14.5 | 14.0 | 13.7 | 13.9 | 14.6 | 14.5 | 13.7 | 16.6 | 13.7 | 14.0 | 16.54 |
| Zn W% | 4.9 | 4.5 | 4.5 | 4.5 | 4.0 | 4.2 | 4.1 | 4.5 | 4.0 | 4.3 | 1.71 |
| As W% | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.3 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.36 |
| Se W% | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0.00 |
| Ag W% | 32.4 | 33.2 | 33.2 | 33.2 | 32.6 | 32.6 | 33.6 | 30.1 | 33.8 | 32.9 | 29.25 |
| Sb W% | 25.4 | 26.0 | 25.6 | 25.7 | 25.9 | 25.8 | 25.8 | 25.8 | 25.4 | 26.2 | 25.48 |
| Te W% | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.08 |
| Au W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.0 | 0.00 |
| Hg W% | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.00 |
| Pb W% | 0.0 | 0.0 | 0.1 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.2 | 0.0 | 0.0 | 0.14 |
| Bi W% | 0.0 | 0.2 | 0.1 | 0.0 | 0.1 | 0.1 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.2 | 0.10 |
| Sum W% | 99.5 | 100.0 | 99.4 | 99.6 | 99.8 | 99.3 | 99.9 | 100.1 | 99.0 | 99.7 | 98.24 |

| S at | 0.62 | 0.62 | 0.62 | 0.62 | 0.62 | 0.61 | 0.63 | 0.64 | 0.61 | 0.62 | 0.63 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.04 | 0.08 |
| Cu at | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.23 | 0.23 | 0.22 | 0.26 | 0.22 | 0.22 | 0.26 |
| Zn at | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.06 | 0.06 | 0.06 | 0.07 | 0.06 | 0.07 | 0.03 |
| As at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.30 | 0.31 | 0.31 | 0.31 | 0.30 | 0.30 | 0.31 | 0.28 | 0.31 | 0.30 | 0.27 |
| Sb at | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.22 | 0.21 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.47 | 1.47 | 1.46 | 1.47 | 1.47 | 1.46 | 1.47 | 1.50 | 1.45 | 1.47 | 1.48 |

| | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM45c1.2 | MM45c2.10 | MM45c2.12 | MM45c2.17 | MM45c2.18 | MM45c2.3 | MM45c2.5 | MM45c2.7 | MM45c2.9 | MM45c3.1 | MM45c4.1 |
| S W% | 20.45 | 20.28 | 20.61 | 20.16 | 20.93 | 20.30 | 20.69 | 20.09 | 22.28 | 22.27 | 22.66 |
| Fe W% | 4.06 | 4.27 | 4.64 | 3.95 | 4.04 | 3.93 | 4.19 | 3.92 | 5.44 | 4.80 | 4.94 |
| Cu W% | 15.61 | 15.51 | 14.84 | 15.86 | 16.43 | 15.78 | 16.74 | 14.78 | 20.06 | 24.79 | 25.24 |
| Zn W% | 1.96 | 1.90 | 2.66 | 1.79 | 1.93 | 1.72 | 1.86 | 2.09 | 1.39 | 1.66 | 1.69 |
| As W% | 0.09 | 0.96 | 1.51 | 0.04 | 0.19 | 0.06 | 0.29 | 0.30 | 6.24 | 0.32 | 0.21 |
| Se W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.09 |
| Ag W% | 29.16 | 30.54 | 30.03 | 30.31 | 29.19 | 29.75 | 29.41 | 31.08 | 26.13 | 17.91 | 17.75 |
| Sb W% | 26.74 | 24.35 | 24.77 | 25.59 | 26.25 | 25.72 | 26.01 | 25.70 | 16.87 | 27.97 | 27.91 |
| Te W% | 0.08 | 0.03 | 0.06 | 0.07 | 0.02 | 0.12 | 0.05 | 0.13 | 0.08 | 0.02 | 0.08 |
| Au W% | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg W% | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.00 |
| Pb W% | 0.10 | 0.11 | 0.24 | 0.12 | 0.18 | 0.09 | 0.02 | 0.14 | 0.12 | 0.01 | 0.07 |
| Bi W% | 0.07 | 0.12 | 0.00 | 0.07 | 0.22 | 0.10 | 0.04 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.03 |
| Sum W% | 98.30 | 98.11 | 99.38 | 97.97 | 99.41 | 97.58 | 99.31 | 98.24 | 98.60 | 99.81 | 100.68 |

| S at | 0.64 | 0.63 | 0.64 | 0.63 | 0.65 | 0.63 | 0.65 | 0.63 | 0.70 | 0.70 | 0.71 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.07 | 0.08 | 0.08 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.08 | 0.07 | 0.10 | 0.09 | 0.09 |
| Cu at | 0.25 | 0.24 | 0.23 | 0.25 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.23 | 0.32 | 0.39 | 0.40 |
| Zn at | 0.03 | 0.03 | 0.04 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.03 | 0.02 | 0.03 | 0.03 |
| As at | 0.00 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.08 | 0.00 | 0.00 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.27 | 0.28 | 0.28 | 0.28 | 0.27 | 0.28 | 0.27 | 0.29 | 0.24 | 0.17 | 0.16 |
| Sb at | 0.22 | 0.20 | 0.20 | 0.21 | 0.22 | 0.21 | 0.21 | 0.21 | 0.14 | 0.23 | 0.23 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.48 | 1.48 | 1.50 | 1.47 | 1.50 | 1.47 | 1.50 | 1.47 | 1.60 | 1.60 | 1.62 |

| | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita | Tetraedrita |
|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Label | MM5-A-111 | MM5-A-112 | MM5-A-114 | MM5-C-105 | MM5-C-108 | MM5-D-100 | MM5-D-94 | MM5-D-95 | MM5-E89 | MM5-E90 | MM5-E92 |
| S W% | 23.30 | 23.23 | 23.61 | 23.07 | 23.13 | 22.88 | 21.70 | 22.44 | 23.07 | 23.69 | 23.90 |
| Fe W% | 4.11 | 2.41 | 5.02 | 4.36 | 2.25 | 5.05 | 4.01 | 4.08 | 3.95 | 3.78 | 4.16 |
| Cu W% | 24.24 | 25.17 | 24.19 | 24.57 | 24.81 | 25.32 | 24.61 | 25.19 | 24.40 | 24.72 | 26.02 |
| Zn W% | 2.22 | 4.19 | 2.06 | 2.49 | 4.53 | 2.13 | 2.46 | 3.15 | 4.38 | 4.14 | 3.16 |
| As W% | 0.14 | 0.42 | 2.49 | 0.18 | 1.07 | 0.39 | 0.32 | 0.22 | 0.73 | 1.03 | 1.65 |
| Se W% | 0.00 | 0.16 | 0.22 | 0.04 | 0.40 | 0.91 | 2.21 | 0.99 | 0.07 | 0.00 | 0.00 |
| Ag W% | 18.30 | 18.05 | 19.68 | 18.09 | 18.72 | 17.32 | 18.13 | 17.28 | 17.75 | 17.97 | 17.29 |
| Sb W% | 27.83 | 27.28 | 23.87 | 27.71 | 26.59 | 27.33 | 27.15 | 27.15 | 26.35 | 26.45 | 25.68 |
| Te W% | 0.07 | 0.17 | 0.05 | 0.09 | 0.06 | 0.06 | 0.11 | 0.01 | 0.04 | 0.06 | 0.07 |
| Au W% | 0.25 | 0.00 | 0.32 | 0.23 | 0.00 | 0.07 | 0.26 | 0.01 | 0.05 | 0.18 | 0.33 |
| Hg W% | 0.10 | 0.09 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.05 | 0.00 |
| Pb W% | 0.21 | 0.00 | 0.10 | 0.15 | 0.12 | 0.00 | 0.12 | 0.05 | 0.19 | 0.13 | 0.07 |
| Bi W% | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.15 | 0.06 | 0.02 | 0.19 | 0.00 | 0.15 | 0.06 | 0.03 |
| Sum W% | 100.79 | 101.18 | 101.61 | 101.14 | 101.75 | 101.53 | 101.26 | 100.57 | 101.13 | 102.26 | 102.36 |

| S at | 0.73 | 0.73 | 0.74 | 0.72 | 0.72 | 0.71 | 0.68 | 0.70 | 0.72 | 0.74 | 0.75 |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Fe at | 0.07 | 0.04 | 0.09 | 0.08 | 0.04 | 0.09 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 | 0.07 |
| Cu at | 0.38 | 0.40 | 0.38 | 0.39 | 0.39 | 0.40 | 0.39 | 0.40 | 0.38 | 0.39 | 0.41 |
| Zn at | 0.03 | 0.06 | 0.03 | 0.04 | 0.07 | 0.03 | 0.04 | 0.05 | 0.07 | 0.06 | 0.05 |
| As at | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.02 |
| Se at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.03 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Ag at | 0.17 | 0.17 | 0.18 | 0.17 | 0.17 | 0.16 | 0.17 | 0.16 | 0.16 | 0.17 | 0.16 |
| Sb at | 0.23 | 0.22 | 0.20 | 0.23 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.22 | 0.21 |
| Te at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Au at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Hg at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Pb at | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Bi At | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| Sum At | 1.62 | 1.63 | 1.66 | 1.62 | 1.63 | 1.64 | 1.60 | 1.62 | 1.64 | 1.66 | 1.67 |

Anexo V

Dataciones Ar-Ar
Laboratorio del Sernageomin



Santiago, 14 de enero del 2011

Informe Ar/Ar 06/2011

Solicitante Sr. Gerardo Páez
Instituto de Recursos Minerales
Universidad Nacional de La Plata - Argentina

Muestra : **6627**
Material : Sanidina
Nº interno : 12243-01

Análisis de step heating

Edad integrada: 161.8 ± 1.0 Ma
Edad Plateau: **157.6 ± 1.0 Ma**
Pasos en el plateau: 4/7 (83.6% en el plateau)
MSWD Plateau: 0.23

Análisis de Isócrona

Edad Isócrona: 157.4 ± 1.8 Ma
Pasos: 4/7 (Sin pasos A, B y C)
Intercepto 36/40: 350 ± 170
MSWD Isócrona: 0.29

Comentarios:

Todos los resultados obtenidos, son concordantes. Se recomienda usar el resultado obtenido con el plateau.

Departamento de Laboratorios Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile
Til Til 1993, Ñuñoa. Santiago - Chile
FONO: (56-2) 2385292 FAX: (56-2) 2385332
E-mail: jefe_lab@sernageomin.cl – www.sernageomin.cl



Muestra : **11329**
Material : Adularia
Nº interno : 12244-01

Análisis de step heating

Edad integrada: 156.5 ± 0.9 Ma
Edad Plateau: **156.5 ± 0.9 Ma**
Pasos en el plateau: 8/8 (100% en el plateau)
MSWD Plateau: 1.05

Análisis de Isócrona

Edad Isócrona: 156.4 ± 0.8 Ma
Pasos: 8/8 (Todos los pasos)
Intercepto 36/40: 296.0 ± 0.7
MSWD Isócrona: 1.1

Comentarios:

Todos los resultados obtenidos, son concordantes. Se recomienda usar el resultado obtenido con el plateau.





DATOS ADICIONALES

| | |
|--------------------------------------|--|
| Razón 40/36 de argón atmosférico: | 295.5 ± 0.5 |
| MSWD aceptable: | < 3 |
| Condiciones mínimas para el plateau: | 3 pasos consecutivos con concordancia de error a 2 sigma y por lo menos un 50% de Ar ³⁹ . |

En el informe, los errores en las edades están expresados en el ámbito de dos sigma de confiabilidad.

En los espectros de step-heating, los errores están expresados con dos sigmas de confiabilidad.

En las tablas de datos y el diagrama de isócrona inversa, los datos están expresados con un sigma de confiabilidad.

Cada tres o cuatro pasos se hicieron análisis de niveles de blancos, que permitieron ir corrigiendo los resultados posteriores.

CARLOS PEREZ DE ARCE R.

**JEFE SECCION GEOCRONOLOGIA
DEPARTAMENTO LABORATORIOS
SERVICIO NACIONAL DE GEOLOGIA Y MINERIA - CHILE**

Departamento de Laboratorios Servicio Nacional de Geología y Minería – Chile
Til Til 1993, Ñuñoa. Santiago - Chile
FONO: (56-2) 2385292 FAX: (56-2) 2385332
E-mail: jefe_lab@sernageomin.cl – www.sernageomin.cl